

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Исследование влияния электротепловых нагрузок на обмоточные провода с пленочной изоляцией</b>

УДК 621.315.617.016.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM86	Ткачев Константин Васильевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов А.П.	К.Т.Н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л.Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Фех А.И.	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов А.П.	К.Т.Н., доцент		

Томск – 2020 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
ОК-1	Способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения
ОК-2	Способностью к письменной и устной коммуникации на государственном языке: умением логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; готовностью к использованию одного из иностранных языков
ОК-3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе
ОК-4	Способностью находить организационно-управленческие решения в нестандартных условиях и в условиях различных мнений и готовностью нести за них ответственность
ОК-5	Способностью и готовностью понимать движущие силы и закономерности исторического процесса и определять место человека в историческом процессе, политической организации общества, анализировать политические события и тенденции, ответственно участвовать в политической жизни
ОК-6	Способностью в условиях развития науки и изменяющейся социальной практики к переоценке накопленного опыта, анализу своих возможностей, готовностью приобретать новые знания, использовать различные средства и технологии обучения
ОК-7	Готовностью к самостоятельной, индивидуальной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции
ОК-8	Способностью и готовностью осуществлять свою деятельность в различных сферах общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм
ОК-9	Способностью и готовностью к соблюдению прав и обязанностей гражданина; к свободному и ответственному поведению
ОК-10	Способностью научно анализировать социально значимые проблемы и процессы, готовностью использовать на практике методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности
ОК-11	Способностью и готовностью владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, использовать компьютер как средство работы с информацией
ОК-12	Способностью и готовностью к практическому анализу логики различного рода рассуждений, к публичным выступлениям, аргументации, ведению дискуссии и полемики
ОК-13	Способностью и готовностью понимать и анализировать экономические проблемы и общественные процессы, быть активным субъектом экономической деятельности

ОК-14	Способностью самостоятельно, методически правильно использовать методы физического воспитания и укрепления здоровья, готовностью к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
ПК-1	Способность и готовность использовать информационные технологии, в том числе современные средства компьютерной графики, в своей предметной области
ПК-2	Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовностью использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ПК-3	Готовность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и способностью привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат
ПК-4	Способность и готовность использовать нормативные правовые документы в своей профессиональной деятельности
ПК-5	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от последствий возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий
ПК-6	Способность и готовность анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования
ПК-7	Способность формировать законченное представление о принятых решениях и полученных результатах в виде отчета с его публикацией (публичной защитой);

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ОЭЭ

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

\_\_\_\_\_  
(Дата)

А.С. Ивашутенко  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5AM86	Ткачеву Константину Васильевичу

Тема работы:

Исследование влияния электротепловых нагрузок на обмоточные провода с пленочной изоляцией	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	13.02.2020, №44-44/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Исходные данные к работе ЧРП на базе ШИМ, система изоляции, электродная система.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Состав и структура ЧРП на базе ШИМ 2. Уровень и влияние эксплуатационных нагрузок на обмотку, питающий кабель; 3. Существующие методы, введение электродной системы и технические средства для испытания КИ, применяемых в ЧРП; 4. Обсуждение результатов 5. Заключение.
<b>Перечень графического материала</b>	Презентация в Power Point
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Л.Ю.
Социальная ответственность	Фех А.И.

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Андрей Петрович	К.Т.Н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM86	Ткачев Константин Васильевич		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM86	Ткачеву Константину Васильевичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 “Электроэнергетика и электротехника”

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 600 тысячи рублей
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	ТУ 16-705-264-82 – Провода медные круглые с двухслойной изоляцией. МЭК 60317-22 – Провода обмоточные. Показатель интегральной ресурсоэффективности – не менее 6 баллов из 10
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления на страховые взносы – 30 % от ФОТ

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Проведены оценка конкурентоспособности и SWOT-анализ.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Разработка устава не требуется.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Формирование плана и графика разработки: -Планирование и бюджет проекта -Разработка диаграммы денежных ресурсов
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Эффективность замены обмоточного провода.

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок
4. Матрица SWOT
5. Календарный план-график проведения НИОКР
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	21.02.2020
---	------------

## Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

## Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM86	Ткачев Константин Васильевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM86	Ткачеву Константину Васильевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Электроэнергетика и электротехника
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Тема ВКР:

Оценка влияния электротепловых нагрузок на пленочную изоляцию обмоточных проводов	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является комбинированно учебно-лабораторный стенд для проведения высоковольтных и высокочастотных испытаний изоляции обмоточных проводов и систем изоляции обмотки на стойкость к действию коронных разрядов.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> 1.1 Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) 1.2 Правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	-При правовых нормах режим труда и отдых работников устанавливается правилами внутреннего трудового распорядка в соответствии с трудовым законодательством. -Организационные мероприятия включают в себя обучение и проверку знаний требований по охране труда. Мероприятия соответствуют нормативному документу трудового кодекса Российской Федерации с последними изменениями и поправками на 2020 год. Также используются следующие документы: Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению	-Проявление вредных факторов производственной среды: выделение

воздействия	озона, шум, влияние микроклимата, недостаточная освещенность рабочей зоны; -Проявление опасных факторов производственной среды: поражение электрическим током, термический ожог.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	-Анализ воздействия объекта ВКР и области его использования ОС; -Разработка решений по обеспечению экологической безопасности
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Выбор и описание возможных ЧС; Типичная ЧС – пожар -Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; -Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	17.02.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Фех А.И.	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM86	Ткачев К.В.		



## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 106с., 29 рис., 22 табл., 37 источников, 1прил.

Ключевые слова: преобразователь частоты, асинхронный двигатель, широтно-импульсная модуляция, обмотка, коронные разряды, пленочная изоляция, короностойкость.

Объектами исследования являются: пленочная изоляция обмоточных проводов марок: ППиУ-200, ППиУТ-200

Цель работы: оценить влияние эксплуатационных нагрузок, характерных для работы блока ШИМ, на электрические свойства пленочной изоляции обмоточных проводов.

Проведены испытания по определению стойкости пленочной изоляции обмоточного провода к действию коронных (поверхностных) разрядов: на высокочастотном испытательном стенде. Описана оригинальная методика эксперимента. Также проведен расчёт эффективной диэлектрической проницаемости смеси, емкости изоляции, удельных диэлектрических потерь в изоляции с учетом времени старения под действием коронных разрядов.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

### Определения:

- Коронный разряд – это отличительная форма самостоятельного газового разряда, проявляющаяся у проводников с большой кривизной поверхности в том числе и в тонких проводниках из-за неоднородности полей.
- Короностойкость – характерное свойство материала выдерживать воздействие коронного разряда без ухудшения свойств.
- Поверхностный разряд – электрический разряд в газовом промежутке по поверхности твердого диэлектрика.
- Широтно-импульсная модуляция – управление мощностью, подаваемой на нагрузку путем изменения скважности импульсов, при постоянной частоте.
- Электрический пробой – проявления резкого возрастания силы тока в диэлектрике или полупроводнике за счет приложенного максимально допустимого значения напряжения.
- Электродвигатель – это тип устройства, суть которого заключается в преобразовании электрической энергии в механическую.

### Сокращения:

- АД – асинхронный двигатель;
- ВЧ – высокочастотный;
- МВИ – межвитковая изоляция;
- ОП – обмоточный провод;
- СЧР – система частотного регулирования;
- ЧРП – частотно-регулируемый привод;
- ШИМ – широтно-импульсная модуляция;

## Оглавление

Введение.....	13
1 Литературный обзор .....	15
1.1 Назначение, номенклатура и свойства обмоточных проводов с пленочной изоляцией .....	15
1.2 Особенности эксплуатации обмоток электрических машин при работе в составе частотно-регулируемого привода.....	22
1.3 Обзор методов испытаний обмоточных проводов с пленочной изоляцией .....	30
1.4 Выводы, постановка задач на исследование .....	36
2 Методическая часть.....	38
2.1 Методика подготовки образцов .....	42
2.2 Методика определения короностойкости проводов с пленочной изоляцией .....	45
3 Экспериментальная часть .....	48
3.1 Объекты исследования .....	50
3.2 Определение среднего времени до пробоя обмоточных проводов с пленочной изоляцией.....	51
3.3 Оценка диэлектрических потерь в изоляции провода .....	53
3.4 Обсуждение результатов.....	54
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	56
4.1 Введение.....	56
4.2 Предпроектный анализ .....	56
4.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	57
4.2.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	58
4.2.3 SWOT – анализ .....	59
4.2.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	61

4.2.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	62
4.3 Инициация проекта .....	63
4.3.1 Организационная структура проекта .....	63
4.3.2 Ограничения и допущения проекта .....	64
4.4 Планирование управления научно-техническим проектом.....	65
4.4.1 Контрольные события проекта .....	65
4.4.2 План проекта.....	66
4.4.3 Бюджет научного исследования .....	68
4.4.4 Реестр рисков проекта .....	73
4.5 Оценка научно-технического уровня разработки.....	74
4.6 Выводы по главе.....	75
5 Социальная ответственность.....	76
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. ....	77
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	77
5.2 Производственная безопасность.....	78
5.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов.....	78
5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия.....	79
5.3 Экологическая безопасность.....	87
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	89
5.5 Вывод по главе .....	91
Заключение .....	92
Список используемых источников:.....	93
Приложение А .....	97

## Введение

По разным источникам процент асинхронных двигателей составляет от 40 % до 70 % всей электроэнергии, которые преобразуют в механическую энергию вращательного или поступательного движения. На данный момент асинхронные двигатели имеют достаточно широкое применение в различных отраслях производства. [1]

Вопрос об использовании ЧРП (частотно регулируемого привода) в связи с интенсивным ростом силовой полупроводниковой и микропроцессорной техники является достаточно актуальным. ЧРП позволяет более точно управлять моментом и скоростью электропривода по заданным координатам, которые обеспечивают характер нагрузки. К главным преимуществам применения ЧРП приводят такие факторы как: экономически низкое потребление электроэнергии при переменной нагрузке, высокий показатель точности регулирования, сохранение постоянной скорости вращения ротора при изменении нагрузки, что приводит к уменьшению износа деталей двигателя, и как следствие, увеличивает срок обслуживания оборудования в целом. Перечисленные преимущества позволяют использовать ЧРП во многих сферах производственной деятельности: системы воздушных охлаждений, водоснабжение, и самое основное – конвейерные ленты в нефтегазовых отраслях, систем ЦНС (центробежные насосы) [2].

Приведенные достоинства использования системы ЧРП привели к значительному росту частоты коммутационных операций (до 20 кГц), что также уменьшает потери электрической энергии и увеличивает производительность ЧРП [3]. Но из-за увеличения скорости коммутаций сократилось время возрастания импульсов напряжения, что в свою очередь оказало негативное влияние на протекании переходных процессов в системе «ЧРП - питающий кабель – двигатель». Следовательно, это сказывается на повышенных значениях напряжения, на клеммах двигателя. Все эти явления

нагрузки обострили условия эксплуатации изоляционной системы ЧРП и, самое главное, межвитковой изоляции, так как она является наиболее слабым звеном в данной системе.

С каждым годом необходимо только улучшать условия надежности, чтобы минимизировать все возможные риски. Ведь без соблюдения необходимых условий надежности могут выйти из строя многие производственные комплексы: работы различных автоматизированных систем, оборудования, работающих в нефтегазовых и машиностроительных отраслях промышленности.

Для обмоток, выполненных из проводов с пленочной изоляцией, в технической литературе недостаточно информации о воздействии электротепловых нагрузок на электрофизические параметры изоляции питающих кабелей. Основной целью данной работы является оценка влияния электротепловых нагрузок на пленочную изоляцию обмоточных проводов и разработка рекомендаций по определению стойкости изоляции к данным нагрузкам.

## 1 Литературный обзор

### 1.1 Назначение, номенклатура и свойства обмоточных проводов с пленочной изоляцией

Обмоточные провода с плёночной изоляцией в основном используются в ПЭД двигателях (погружные электродвигатели). На замену простым штанговым насосам, используемыми для добычи воды из артезианских скважин, нефти, закачки нефтепродуктов и прочих компонентов жидкого сырья, появились погружные электронасосы. Процесс действия двигателя состоит в том, что обмотка двигателя напрямую подвергается воздействию перекачиваемой жидкости. Обмотки таких типов двигателей чаще всего производят из меди.

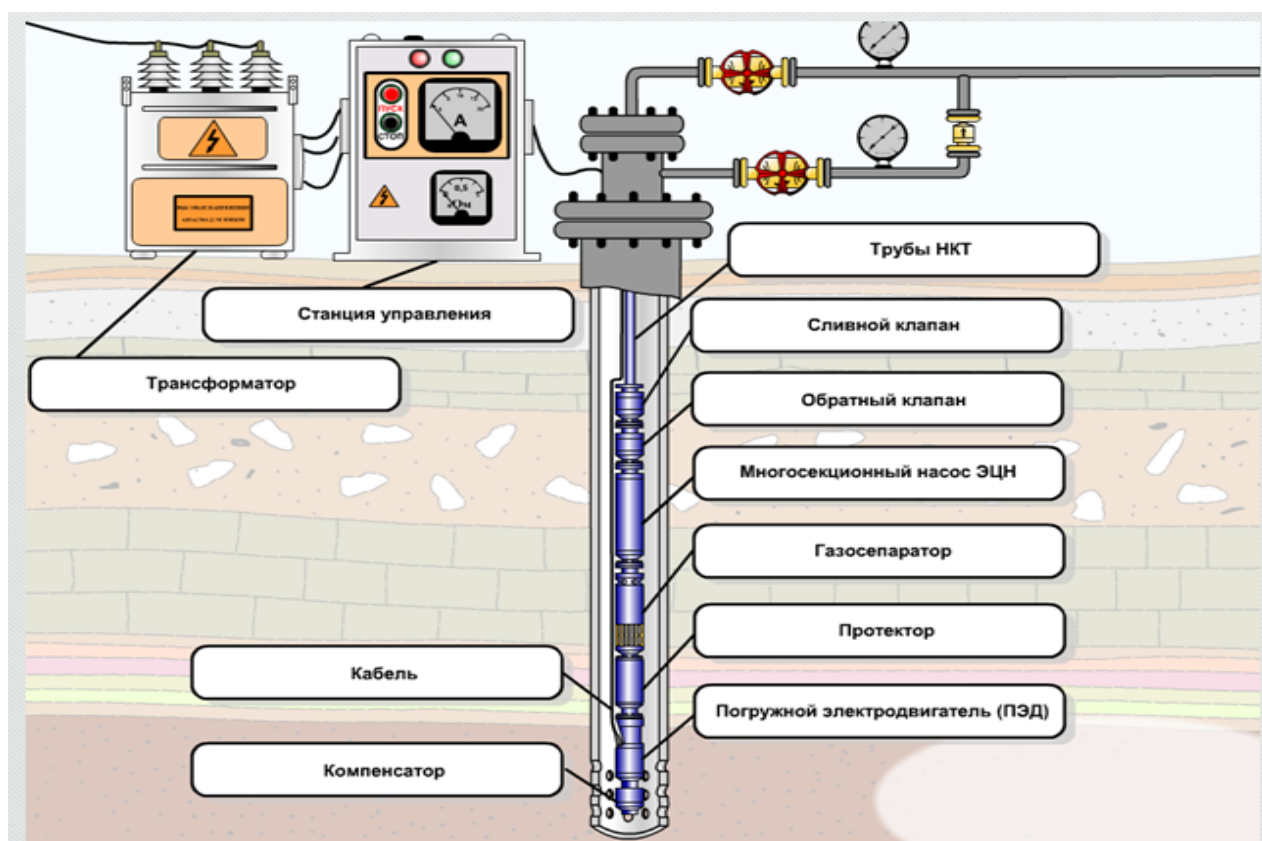


Рисунок 1 – Установка центробежного насоса

При полностью закрытом пазе, работа ПЭД-двигателя в скважинах малого диаметра (примерно 415 мм) обладает следующими конструктивными

различиями – небольшой диаметр при весьма больших параметрах длины. Данный вид паза статора выполняется способом многократной протяжки провода, поэтому, описанный тип проводов с таким типом изоляции должен обеспечивать высокие показатели механической прочности.

Комбинированная пленочно-волоконная и эмалевая изоляция является первым типом обмоточных проводов для данных условий эксплуатации, которые раньше применялись для производства погружных электродвигателей.

При использовании пленок из фторопласта для изоляции достигается высокая надежность. При подаче тока высокой частоты происходит процесс спекания пленок на проволоку обмоткой. Кристалличность полимера составляет около 90% , и макромолекулы фторопласта имеют симметричную форму. Когда температура достигает 330 °С, происходит деградация кристаллов и следующим этапом является переход в аморфную фазу. Далее полимер достигает состояния высокой эластичности, а именно происходит процесс спекания в общую прозрачную монолитную массу. Такие характеристики позволяют сохранять твердость до температуры разложения (420°С). Выше указанной температуры происходит процесс плавления. Из-за того что, дипольный момент макромолекул почти равен нулю, политетрафторэтилен показывает высокие характеристики диэлектрических свойств при сильной полярности связи и высокой симметричности строения. При помощи метода сострагивания получают данный тип пленки, так как политетрафторэтилен устойчив к растворению и плавлению в определенных условиях.

Этот тип пленки выдерживает длительную эксплуатацию при температуре до 260 °С. Политетрафторэтиленовая пленка имеет крайне высокую стойкость к химическим и любым другим растворителям. Также данный тип пленки обладает устойчивостью к низким температурным значениям. Политетрафторэтилен может сохранять работоспособность



изоляции в условиях до  $-270^{\circ}\text{C}$ . Однако у данной пленки есть недостаток, при рекристаллизации (явление хладотекучести) и при любых температурных значениях происходит необратимая деформация из-за нагрузки. Фторопластовая пленка имеет низкие показатели короностойкости, поэтому рабочее напряжение обмоточных проводов с политетрафторэтиленовой изоляцией ограничено.

В связи с освоением месторождений нефти в Западной Сибири, Казахстане и на севере европейской части России, ростом глубины ее залегания и температуры окружающей среды возникла необходимость создания новой серии погружных электродвигателей с повышенными технико-экономическими показателями и рассчитанных на более высокую температуру откачиваемой жидкости. Решение такой задачи стало возможным с появлением нагревостойких электроизоляционных пленочных материалов на основе полиимидов, и в первую очередь комбинированных полиимидно-фторопластовых пленок. [4]

Таблица 1 - Характеристики проводов

Марка провода	Конструктивные особенности	ТИ, [ $^{\circ}\text{C}$ ]
ППИ-У	Провод медный круглый с изоляцией из полиимидно-фторопластовой пленки	200
ППИ-П	То же, с прямоугольной проволокой	200
ППИК-Т	То же, с номинальной удвоенной толщиной 0,16 мм	200
ППИК-1	То же, с номинальной удвоенной толщиной 0,16 мм	200
ППИК-2	То же, с номинальной удвоенной толщиной 0,30 мм	200
ППЛБО	То же, с изоляцией из 3 – х слоев лавсановой пленки и одного слоя хлопчатобумажной пряжи с общей удвоенной толщиной 0,48...0,53 мм	105
ППЛЛО	То же, с наружным слоем из полиэфирной пряжи	155

Полиимидная пленка является основой комбинированной пленки. Данную пленку производят методом выдавливания полиимидного лака тонким слоем поверх гладкой и металлической поверхности, что в дальнейшем приводит затвердеванию слоя. Существует два типа полиимидных пленок: фторопластовый материал с односторонним или двухсторонним покрытием. Покрытие из фторопласта, в процессе нагрева пленки после обмотки, сваривается, тем самым достигаются высокие показатели изоляции герметичности и плотности. Повышенные показатели стойкости основы из полиимида к действиям истирания и продавливания гарантирует гораздо меньше повреждений изоляции из полиимидно-фторопластовой пленки в сравнении с простой фторопластовой, применяя метод протяжки провода в паз обмотки ПЭД двигателей для насосов в нефтегазовой отрасли.

Нагревостойкие обмоточные провода для погружных электродвигателей выпускаются следующих марок: ППФИ – с изоляцией из ленточного фторопласта – 4 и полиимидно – фторопластовой пленки, ППИ, ППИУ – с изоляцией из полиимидно- фторопластовой пленки, ПЭИ – 200 – с изоляцией из полиамидимидного лака и полиимидно – фторопластовой пленки.

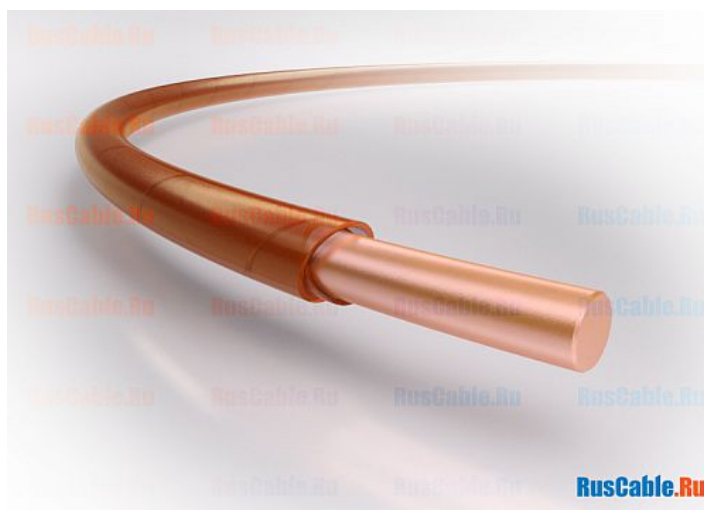


Рисунок 1.2 – Обмоточный провод с пленочной изоляцией

Провода марки ППФИ выпускаются диаметром 1,7 – 3,15 мм. Изоляция их состоит из неориентированных пленок фторопласта – 4, поверх которых наложена полиимидно – фторопластовая пленка, обеспечивающая повышенную механическую прочность изоляции провода при протяжке в пазы статора электродвигателя, общая двухсторонняя толщина изоляции провода составляет 0,95 мм.

Провода марок ППИ-У, ПЭИ – 200 выпускаются диаметром 2,0 – 3,15 мм. Удвоенная толщина изоляции проводов марок ППИ, ППИУ не превышает 0,5 мм, что достигается за счет применения тонких полиимидно-фторопластовых пленок. Применение в конструкции изоляции нагревостойкого полиамидимидного лака в комбинации с полиимидно-фторопластовой пленкой позволило снизить двухстороннюю толщину изоляции в проводах ПЭИ – 200 до 0,32 мм.

Провода марок ППФИ должны выдерживать после пребывания в воде при температуре равной 25 °С в течение суток испытания модулированным напряжением 4 кВ не более 50 секунд и иметь сопротивление изоляции не ниже 200 МОМ/км. Пробивное напряжение изоляции проводов ППИ, ППИ-У должно быть не менее 12 кВ, проводов ПЭИ – 200 – 10 кВ.

Кроме того, в процессе производства провода должны выдерживать испытательное напряжение 8 кВ (провода марок ППИ, ППИ – У) и 4 кВ (провода марки ПЭИ – 200). Средний ресурс проводов марок ППФИ в маслозаполненных электродвигателях составляет 20000, в водозаполненных – 5000 ч.

Более широкое применение в настоящее время при изготовлении обмоток электродвигателей прокатных станов и электровозов находят провода прямоугольного сечения с изоляцией из полиимидно-фторопластовых пленок типа ППИП и ППИПК. Удвоенная толщина изоляции этих проводов в зависимости от требований, предъявляемых потребителем от 0,16 до 0,40 мм. Сечение проводов 30 – 60 мм<sup>2</sup>.

Провода типа ППИП должны выдерживать испытание напряжением от 1,5 кВ до 4 кВ (в зависимости от толщины изоляции) переменного тока частотой 50 Гц в течение 1 мин в воде после выдержки в ней при температуре 20 °С в течение 3 ч.

Пробивное напряжение изоляции проводов типа ППИК при испытаниях в металлических шариках должно быть 750 – 2300 В (в зависимости от толщины изоляции).

Ресурс работы проводов типа ППИП, ППИК при температуре соответствующей температурному индексу 200 , составляет 20000 ч.

Изоляция проводов должна обладать следующими свойствами:

1. Иметь механические прочные свойства
2. Повышенные характеристики адгезии к проволоке
3. Устойчивость на истирание, эластичность
4. Устойчивость на большие температурные нагрузки
5. Иметь высокие электрические показатели

Пленки обычно гибкие и тонкие материалы при малой толщине изоляции, показывающие высокие диэлектрические и механические свойства. Благодаря таким характеристикам можно наблюдать, что данный тип изоляции в производстве массово применяется для кабельных изделий, электрических машин, конденсаторов и аппаратов.

У полярных пленок более высокие показатели  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$ . В основном данный тип пленок используется в машинах постоянного и переменного тока. Полярные пленки бывают следующих типов:

1. Полиимидная
2. Поливинилхлоридная
3. Триацетатцеллюлозная
4. Полиэтилентерефталатная

Kapton – марка первой полиимидной пленки, разрабатывалась в США в 1960 году. На данный момент самые распространенные марки данной

пленки: Kapton FN/HN. Тип HN – это 100% полиимидная пленка, ее толщина может достигать от 8 до 130 мкм. Данный вид пленки помимо лакировки, можно также ламинировать и формовать. Отличные показатели эксплуатационных свойств и характеристика прочности при растяжении сохраняются даже при долгой выдержке в кипящей воде. Пленка марки Kapton HN/FN из состава полиимида-фторопласта обычно выпускается толщиной от 20 до 150 мкм.

Имеются также пленки, выпущенные на территории России, разработанные еще при СССР. Речь идет о пленках марки ПМ-А, ПМ-Б. Технические показатели пленки ПМФ – 351 , ПМФ – 352 которые выпускают в России, могут быть с односторонним либо двухсторонним фторопластовым покрытием. Наиболее встречаемая изоляция проводов в обмотках ПЭД – пленочно-фторопластовая и полиимидно-фторопластовая. Данные провода могут использоваться в водозаполненных электродвигателях напряжением 380В.

- Максимальная рабочая температура жилы [°C] 200
- Механическая прочность изоляции, число двойных ходов иглы, средн./миним. 150/125
- Пробивное напряжение, не менее [В] 12000
- Температура окружающей среды, нижний предел [°C] -60
- Электрическое сопротивление изоляции, не менее [МОм\*км] 200

Формально к пленкам относят листовой или рулонный материал толщиной до 0,25 мм и шириной более 100 мм. Узкие пленки называются лентами. Практически термин “пленки “ используют для тонких листовых материалов, обладающих хорошей гибкостью . [4]

## **1.2 Особенности эксплуатации обмоток электрических машин при работе в составе частотно-регулируемого привода**

Привод постоянного тока можно заменить преобразователем частоты и двигателем. У электрического привода двигатель является самым слабым местом, хотя процесс регулирования скорости двигателя является весьма простым в машинах постоянного тока. Данный тип электродвигателя является ненадежным и дорогим. Коллектор во время эксплуатации подвержен искрению щеток и подвергается изнашиванию из-за действия электрической эрозии.

Наиболее распространённым типом электрических машин являются асинхронные двигатели. Данный тип двигателя имеет сравнительно низкую стоимость по сравнению с другими, также демонстрирует высокие характеристики эксплуатационных показателей. Однако регулирование скорости вращения вала из-за сложной конструкции производству стоило до начала 80-х годов достаточно дорого, и в связи с этим, электронное регулирование частоты являлось неактуальным, так как не имело достаточных характеристик, чтобы внедрять данную технологию в широкий рынок электроэнергетики. Но из-за быстрого развития электроники и появления не дорогих ПЧ стало доступным изменение скорости вращения асинхронных машин в глобальных масштабах. Проблема внедрения преобразователей частоты решилась достаточно быстро, так как в скором времени возник электронный модуль на основе IGBT (1990-е годы). IGBT расшифровывается как: изолированный (Insulated) затвор (Gate) с биполярным (Bipolar) транзистором (Transistor). Данный полупроводниковый прибор рассчитан на токи до 1500 ампер, по напряжению 100В-100кВ, с частотой коммутации 25 кГц и больше. Отмечается, что суммарный объем электричества, употребляемой с целью приведения в движение абсолютно всех приводов с асинхронными двигателями, составляет более 50% всей употребляемой энергии. Данный двигатель имеет подвижный

короткозамкнутый ротор и также неподвижный статор. Регулирование количества пар полюсов статора, амплитуды и частоты питающего напряжения позволяет изменять скорость ротора в асинхронных двигателях.

Чтобы изменить скорость вращения асинхронного двигателя применяются полупроводниковые преобразователи частоты, так как данное устройство позволяет изменять частоту подводимого напряжения [1]. Принцип действия ЧР заключается в изменении скорости вращения двигателя путем регулирования амплитудных характеристик напряжения и значений частоты в трехфазном источнике питания. Использование ЧРП допускает изменение скорости АД как ниже, так и выше номинальных значений двигателя. При регулировании частоты ниже номинальной возможно подобрать такого рода закон частотного управления. В данном случае наибольший момент двигателя сохраняется постоянным, и таким способом обеспечивается стабильность перегрузочной способности в абсолютном диапазоне регулировки при постоянном моменте нагрузки.

Существует 2 основных вида ПЧ: с непосредственной связью и с промежуточным контуром постоянного тока. Для первого вида напряжение на выходе в виде формы синусоиды формируется из синусоидальных участков преобразуемого входного усилителя. Максимальное значение выходной частоты принципиально никак не может совпадать со значением частоты сети питания. Как правило, частота на выходе преобразователя данного вида, принимается в следующем диапазоне: от 1 до 2499 Гц. Однако максимальное распространение имеют преобразователи частоты с промежуточным контуром постоянного тока, произведенные на базе инверторов напряжения

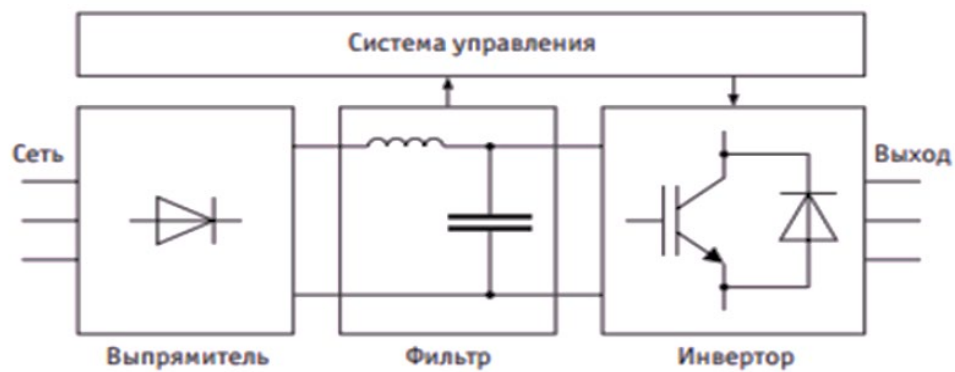


Рисунок 1.3 – Структурная схема преобразователя частоты

Переменное напряжение сети преобразуется с помощью диодного выпрямителя, далее сглаживается в промежуточной цепи индуктивно ёмкостным фильтром. Зачастую в инверторах используется метод высокочастотной широтно-импульсной модуляции (ШИМ). ШИМ (широтно-импульсная модуляция) – это способ управления подачей мощности к нагрузке. ШИМ (широтно-импульсная модуляция) – это метод регулирования подачи мощности к нагрузке. В момент работы ШИМ при постоянном значении частоты импульсов управление состоит в изменении длительности следования импульсов.

Использование широтно-импульсной модуляции дает возможность увеличить коэффициент полезного действия электрических преобразователей, в особенности это касается импульсных преобразователей, которые на сегодняшний день составляют основу вторичных источников питания разных электронных аппаратов. Обратноходовые и прямо ходовые одноктактные, двухтактные и полу мостовые, а кроме того мостовые импульсные преобразователи управляются с ШИМ. В качестве коммутационных элементов, а именно в высокочастотных преобразователях, используются биполярные и полевые транзисторы, работающие в ключевом режиме. В переходных состояниях, где время составляет десятки наносекунд, выделяемая на ключе мощность незначительна, по сравнению с коммутируемой мощностью.



Таким образом, преобразователь частоты обладает: значительной точностью регулирования, имеющий высокие характеристики пускового момента, с помощью сети передачи данных проводить удаленную диагностику привода. Также стоит отметить, что сокращается износ оборудования, благодаря плавному запуску двигателя.

Частотно регулируемый привод помимо вышеперечисленных достоинств, все же имеет следующие недостатки – преломление гармоник в электронной сети питания. Первопричина появления гармонических преломлений – это присутствие уже имеющихся в составе частотного привода выпрямительного моста (нелинейных входных цепей), что потребляют импульсный ток. Электромагнитные помехи – в выходе устройство ЧРП дает широтно-модулированные прямоугольные импульсы напряжения, получаемые с помощью сверхбыстрых полупроводниковых ключей (IGBT). Данные импульсы формируют обширный диапазон индукционных помех. Для того чтобы уменьшить уровень помех в согласовании с общепризнанными нормами IEEE и ГОСТ, нужна установка добавочных фильтров.[5]

Применение систем частотного управления обуславливает изменение процессов старения изоляции, и кроме температуры, значительный вклад вносит влияние электрического поля. Особенности эксплуатации низковольтных обмоток в системе частотно- регулируемого привода (ЧРП) обусловлены применением преобразователей частоты на базе ШИМ, что приводит к воздействию быстрого нарастания напряженности электрического поля на фронте волны за счет высокой скорости коммутации ключей. Как следствие, к появлению волновых явлений, перенапряжений в обмотках, повышению возникающих перенапряжений при распространении волны по кабелю от преобразователя частоты к асинхронному двигателю. В результате этого возникающие перенапряжения могут быть достаточными

для возникновения короны в низковольтной обмотке статора электродвигателя, работающего в составе частотно-регулируемого привода.

Короностойкость диэлектрика – это способность переносить влияние коронного разряда в отсутствии недопустимого смещения в худшую сторону свойств. Корона может быть сформирована с течением периода из-за износа электродов и старения изоляции. Под влиянием короны и химических соединений, совершается эрозия изоляционного материала, что в дальнейшем приводит к пробое и изоляция не выдерживает дальнейшего проложенного напряжения.

Существуют дополнительные требования к эксплуатации: показатели рабочей частоты и значение напряжения могут меняться в зависимости от длины монтажного кабеля. ЧРП генерирует импульсы напряжения в виде отраженных волн, и как следствие, эти импульсы поступают на клеммы двигателя. Отражение волн от концов кабеля может послужить причиной к двойному увеличению выходящего напряжения электропривода. [5] Подобные процессы чрезвычайно неблагоприятно сказываются на электрической изоляции. Следовательно, это может привести изоляцию кабеля к уменьшению срока службы. При работе привода появляются электрические нагрузки значительной интенсивности, которые функционируют на изоляцию в течение всего периода эксплуатации при рабочей температуре. Электроизоляционные материалы проводных продуктов должны обладать нужной стойкостью к частичным разрядам, к дугостойкости, к коронным разрядам, а кроме того к воздействию электротеплового старения. [2] При высокой напряженности электрического поля в единичных составляющих изоляции имеют все шансы происходить разряды (пробой), которые никак не приводят к абсолютному пробое электроизоляционной конструкции.

Частичные и коронные разряды считаются ключевыми факторами, которые разрушают электрическую изоляцию при работе на переменном и

импульсном напряжениях. Традиционно электрическое старение учитывалось при обмотках высокого напряжения, таким образом, как постоянно функционирует высокое напряжение. Рабочие электрические нагрузки в изоляции низковольтных машин изменились в связи с применением новых систем ЧРП. И, как следствие, такие изменения могут привести к ускоренному износу изоляции обмоток, что в итоге может привести к электрическому пробое.

Для того чтобы обмотки двигателей и электрическая изоляция кабельных линий соответствовали условиям надежной работы необходимо соблюдать данные условия:

1. Установка LC-фильтра. Последовательно в цепи установить синусный (силовой) фильтр на выходе инвертора, тем самым обеспечив меньшую крутизну фронта импульса выходного напряжения.

2. Установка RC-фильтра. Ограничения перенапряжений напрямую у зажимов двигателя для согласования волнового сопротивления кабеля осуществляется с применением слаботорного RC-фильтра.

3. Применять специальные обмоточные и кабельные провода, чтобы достичь устойчивых показателей к нагрузкам при использовании частотного управления.

Отсутствие дросселей приводят к появлению в сетевом напряжении высокочастотных импульсов, флуктуаций, способствующих генерации паразитного электромагнитного излучения от силовых кабелей, особенно если данные кабели отличаются значительной протяженностью. Помехи, генерируемые ШИМ инвертором и выпрямителем, изображены на осциллограмме (рисунок 1.4).

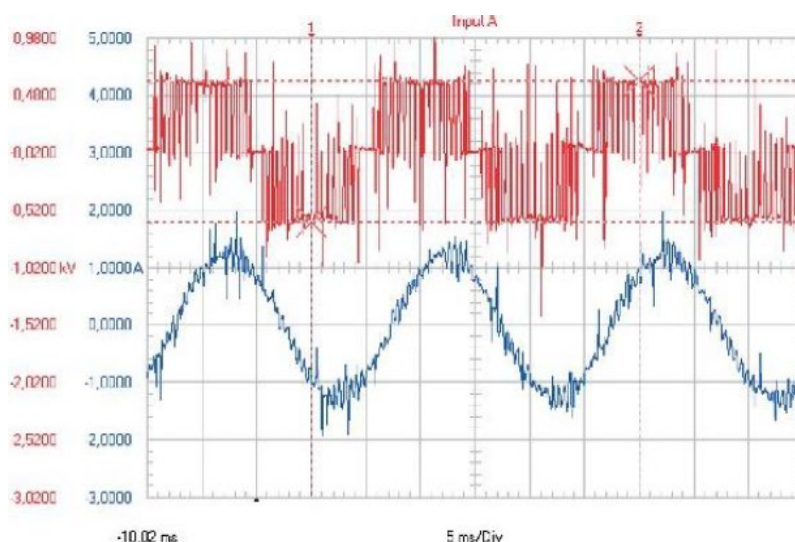


Рисунок 1.4 – Форма напряжения и тока в системе ЧРП без дросселя

Применение дросселей для снижения перенапряжения является простым и дешевым способом защиты. На осциллограмме (рисунок 1.5) видно, что ток и напряжение на выходе после установки дросселя имеют более сглаженные характеристики, из-за того, что данный метод защиты увеличивает время подъема напряжения, что в следствии и сглаживает фронты  $du/dt$ . Такой способ защиты используется при длине кабеля до 15м.

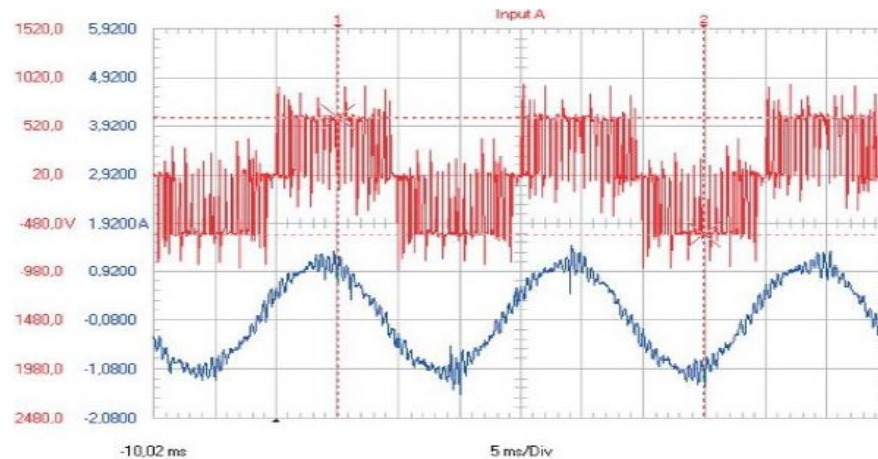


Рисунок 1.5 – Форма напряжения и тока в системе ЧРП с дросселем

Компенсация скачков напряжения и более сглаженный фронт (рисунок 1.6) достигается с применением моторных дросселей с более

высокими показателями индуктивности. Данный тип защиты используется при длинах от 15м до 50м.

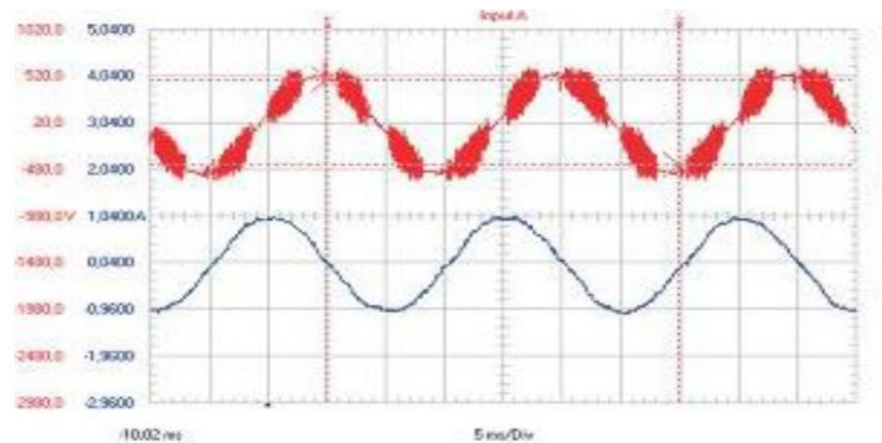


Рисунок 1.6 - Форма напряжения и тока в системе ЧРП с моторным дросселем

Синусоидальные фильтры применяются при длинных кабельных соединениях от 50м и выше (позволяя использовать при этом неэкранированный кабель, который намного дешевле) и в приводных системах во взрывоопасных помещениях (поскольку исключают риск возникновения перенапряжения на клеммах двигателя).

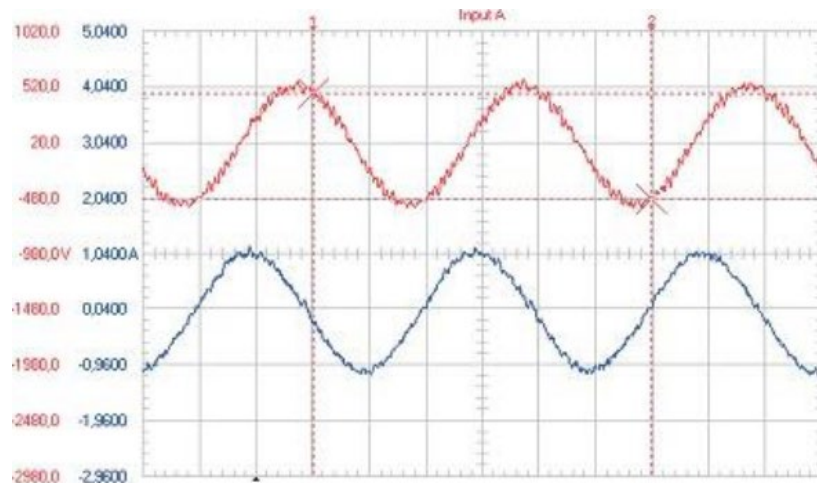


Рисунок 1.7 - Форма напряжения и тока в системе ЧРП с синус фильтром

Синус-фильтр лучше, чем предыдущие дроссели. Емкости и индуктивности имеют здесь большие величины, такие, что частота среза

составляет менее половины частоты коммутации ключей ШИМ-инвертора. Таким образом, достигается лучшее сглаживание помех высоких частот, а форма напряжения на обмотках двигателя и форма тока в них, оказывается сильно ближе к идеальной синусоидальной (рисунок 1.7). Синусный фильтр отличается, более крупным размером, по сравнению с габаритами традиционного частотного преобразователя. Применение синусного фильтра позволяет использовать совместно с частотным преобразователем даже двигатель, изначально (по спецификации) не предназначенный для работы с частотным преобразователем по причине слабой изоляции. При этом не будет наблюдаться ни повышенного шума, ни быстрого износа подшипников, ни перегрева обмоток высокочастотными токами. Появляется возможность без вреда использовать длинный кабель, соединяющий двигатель с преобразователем частоты, при этом исключаются импульсные отражения в кабеле, что может привести к потерям в форме тепла в преобразователе частоты.[5]

### **1.3 Обзор методов испытаний обмоточных проводов с пленочной изоляцией**

При работе электропривода появляются электрические нагрузки, что отрицательно влияет на изоляцию во время эксплуатации при рабочих температурах.

Электроизоляционные использованные материалы кабельных изделий должны обладать нужной стойкостью к частичным разрядам, к дугостойкости, к коронным разрядам, а кроме того к воздействию электротеплового старения.

При высокой напряженности электрического поля в отдельных составляющих изоляции имеют все шансы происходить разряды (пробой), которые никак не приводят к полному пробое электроизоляционной конструкции. Подобные разряды приобрели название частичных разрядов.

Если дефект находится ближе к наружной поверхности изоляции, в таком случае частичный разряд будет более на положительной полуволне питающего напряжения и менее на отрицательной. В случае если дефект находится ближе к «земляному» потенциалу, в таком случае наоборот, разрядов станет больше на отрицательной полуволне питающего напряжения.

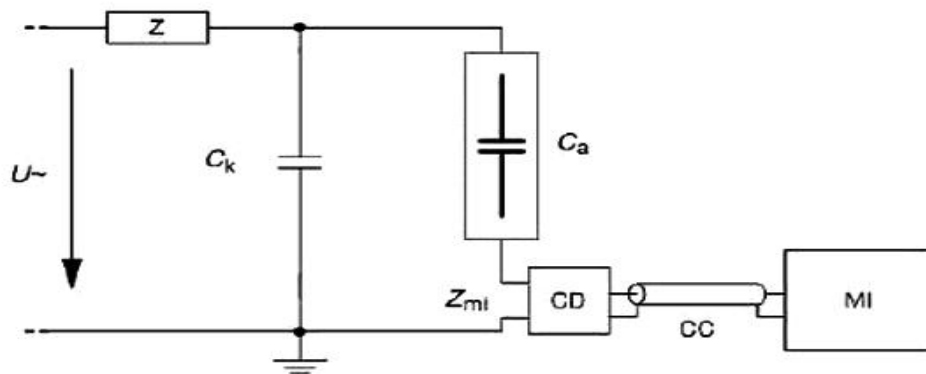


Рисунок 1.8 – Испытательная схема для измерения частичных разрядов

Компоненты:  $U_{\sim}$  - источник высокого напряжения;  $Z_{mi}$  - входной импеданс измерительной системы; CC - соединительный кабель; OL - оптический канал; Ca – испытуемый объект; CD - измерительный элемент; MI - измерительный прибор; Z – фильтр [6]

Значение чувствительности для установки составляет минимум 2 пКл. Подключение и разделывание проводов продельваются, таким образом, чтобы исключить разряды на концах образцов. Напряжение начала частичного разряда в изоляции обуславливалось с помощью киловольтметра при плавном увеличении напряжения и фиксации появления частичного разряда с помощью осциллографа, интенсивность разрядов не должна превышать 2 пКл. Период приложения напряжения к изоляции кабеля составляет 1 минуту.

Следующий метод – установление стойкости электроизоляционных материалов к воздействию дуги. Дугостойкость диэлектрика представляет

способность выдерживать влияние электрической дуги без недопустимого смещения в худшую сторону его качеств.

Различают стойкость электроизоляционных материалов к воздействию электрической дуги при значительном (выше 1000 В) переменном напряжении и небольших токах и при воздействии дуги, формируемой постоянным напряжением вплоть до 1000 В. Электроды, с приложенным переменным напряжением располагаются близко к поверхности образца. Образующаяся электрическая дуга воздействует на испытуемый материал и вызывает появление токопроводящей перемычки среди электродов (рисунок 1.9).

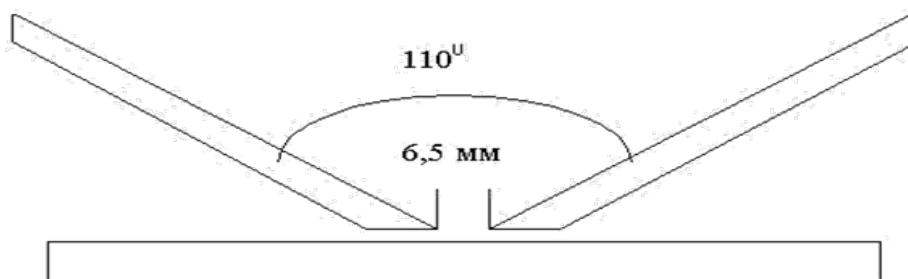


Рисунок 1.9 – Определение стойкости к воздействию электрической дуги напряжения переменного тока

Из-за шунтирования воздушного промежутка перемычкой дуга погасает. Подобным способом, момент появления перемычки фиксируется по погасанию дуги. Параметрами дугостойкости считается в данном случае ток  $I_d$  и время  $t_d$ , нужное для образования перемычки. Толщина образцов не меньше 3 миллиметров. Напряжение в электродах 12,5 кВ при токе от 10 вплоть до 100 миллиампер.

Следующий метод – установление стойкости электроизоляционных материалов к электротепловым нагрузкам.



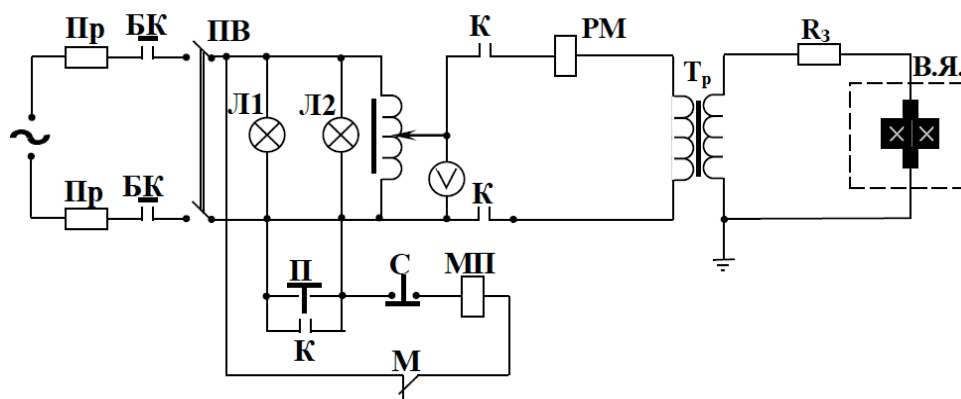


Рисунок 1.10 - Электрическая схема установки для испытаний изоляции.

Компоненты: В.Я. – высоковольтная ячейка; МП – магнитный пускатель ; П., С – кнопки «Пуск», «Стоп» ; БК – блокировка; Л1, Л2 – сигнальные лампы низкого и высокого напряжения; Пр – предохранительные вставки; РМ – реле максимального тока

Суть метода на тепловое старение изоляции сводится к тому, что образцы помещаются в специальные шкафы, или камеры, образцы выдерживаются в течении определенного времени при высоких температурах, диапазон в пределах 60 - 130°C в зависимости от используемого материала. В некоторых случаях, помимо влияния температуры на образцы, может даваться одновременно воздействие других факторов, к примеру, электрического поля. Для твердой изоляции более характерным считается постепенное снижение механической прочности в ходе теплового старения, что приводит к дефекту изоляции под воздействием механических нагрузок и, как следствие, к пробоя.[7]

Использование новейших систем частотного регулирования электроприводом привело к изменению уровня электрических эксплуатационных нагрузок. Что в свою очередь стало причиной ускоренного электрического износа изоляции с дальнейшим появлением пробоя. Помимо этого, обозначился ряд вопросов, связанных с разработкой, испытанием и использованием короностойких систем изоляции, решение

которых даст возможность обеспечить необходимый уровень прочности в процессе эксплуатации.

В данной работе в особенности немаловажно определение способности пленочной изоляции кабеля, как главного элемента, который обеспечивает надежность витковой изоляции, выдерживать высокие электрические нагрузки.

Астахин В.В выделил следующие методы испытаний обмоток с пленочной изоляцией [8]:

- Одноосное, двухосное напряжение
- Сопротивление раздиру
- Стойкость к многократным деформациям
- Химическая стойкость
- Горючесть
- Теплостойкость и морозостойкость
- Диэлектрические свойства

Для испытания электроизоляционных пленок применяют стандартные методы испытаний пленочных материалов, в которых регламентированы форма, размеры и число образцов, условия и порядок испытания, даны формулы для вычисления значений определяемого показателя и в некоторых случаях тип прибора. Испытания должны производиться при температурах и скоростях деформации, характерных для условий эксплуатации данной пленки.

Одноосное растяжение – образец пленки заданных размеров закрепляют в зажимах, один из которых связан с регистрирующим прибором, и растягивают в одном направлении до разрушения. При этом регистрирующее устройство фиксирует прилагаемую нагрузку. Удлинение образца измеряется по смещению подвижного зажима. Одновременная регистрация нагрузки и удлинения дает кривую растяжения. Тангенс угла

наклона этой кривой в начальном прямолинейном участке представляет собой модуль эластичности пленки для данных условий испытаний. Удлинение в момент разрыва рассчитывается по следующей формуле:

$$\varepsilon_p = \frac{l_p - l_0}{l_0} \cdot 100, \quad l_0 - \text{начальная длина рабочего участка образца, } l_p - \text{длина рабочего участка в момент разрыва.}$$

Двухосное растяжение – для этой цели используют специальные приборы, действие которых основано на передаче давления жидкости или газа через резиновую мембрану на образец, прочно закрепленный по периметру с помощью зажимного колпака. Деформация пленки измеряется с помощью стрелочного индикатора.

Сопротивление раздиру – это испытание проводят на обычных разрывных машинах, применяя образцы пленки особой формы при скорости растяжения 50 мм/мин или растягивая со скоростью 250 мм/мин предварительно надрезанную полоску пленки установленных размеров. Особенностью этих испытаний является то, что участок максимальной концентрации напряжения задается выбором формы образца или нанесением надреза.

Стойкость к многократным деформациям – используют прибор Фальцера, принцип действия которого основан на том, что образец пленки стандартных размеров многократно подвергается двойному изгибу с постоянной частотой и амплитудой деформации.

Химическая стойкость – определяется сохранением тех или иных свойств после воздействия жидких или газообразных химических веществ. Простейшим методом оценки химической стойкости пленок по отношению к той или иной среде является определение изменения внешнего вида и массы стандартных образцов после пребывания их в данной среде в строго регламентированных условиях.

Горючесть – определяется одним из стандартных методов : огневой трубы, распространения пламени, калориметрическим методом. За границей большую популярность получил метод определения горючести по кислородному индексу. А именно: способом установления наименьшей концентрации озона в химическом соединении кислорода и оксид азота в условиях постепенного повышения концентрации кислорода до воспламенения образца. Достоинством метода является хорошая производимость результатов.

Морозостойкость – данные показатели определяют по граничным условиям эксплуатации полимерных пленок. Мерой морозостойкости служит температура хрупкости пленок, которую определяют, подвергая образец деформации изгиба после выдержки при пониженных температурах, например сдавливают образец в виде полоски, сложенной петлей и зажатой в зажиме. Появление трещин после деформации считается разрушением образца, а температура, при которой появились трещины в пяти образцах – температура хрупкости.

#### **1.4 Выводы, постановка задач на исследование**

Ознакомившись с процессами, протекающими в ЧРП на базе ШИМ, а также их воздействия на элементы системы, можно сделать следующие выводы:

В момент работы ЧРП на основе широтной импульсной модуляции появляются электрические перенапряжения, которые неблагоприятно сказываются на сроке службы межвитковой изоляции. Отсюда следует, что способность изоляции должна выдерживать подобные нагрузки.

При исследовании стойкости межвитковой изоляции к повышенным электротепловым нагрузкам характерных для работы ЧРП на базе ШИМ является актуальной задачей, так как это позволит более обоснованно выбрать материал пленочной изоляции, обеспечить надежную работу при

воздействии подобных нагрузок. Отсюда следует, что необходимо провести сравнительную оценку стойкости изоляции образцов.

Для достижения поставленной цели следует рассмотреть следующие задачи:

1. Разработать методику с применением электродной системы по оценке стойкости межвитковой изоляции обмоток в системе ЧРП к воздействию электротепловых нагрузок.

2. Провести ряд сравнительных испытаний на стойкость межвитковой изоляции обмоток к электротепловым нагрузкам характерным для обмоток электрических машин с частотно-регулируемым приводом.

3. Разработать рекомендации по применению материалов для межвитковой изоляции обмоток с учетом особенностей эксплуатации в системах частотного регулирования.

4. Оценить влияние пропиточного состава изоляции на среднее время до пробоя.

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **4.1 Введение**

Выпускная квалификационная работа в виде магистерской диссертации заключается в оценке величин электрических нагрузок в частотно-регулируемом приводе и разработке рекомендаций по применению компонентов межвитковой изоляции.

Повышенный уровень эксплуатационных нагрузок при использовании частотно-регулируемого привода с широтно-импульсной модуляции обуславливает ужесточение требований по конструированию подобных электрических устройств, в том числе применение короностойких электроизоляционных материалов, обмоточных проводов.

Данные модификации приводят к удорожанию конечного продукта, что, безусловно, отражается на небольшом спросе.

Целью данного раздела является определение перспективности и успешности замены обмоточного пленочного провода короностойким.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- Провести анализ существующих марок обмоточных проводов и планируемого рынка сбыта.
- Оценить конкурентоспособность инженерного решения.
- Разработать план и график по внедрению короностойких обмоточных проводов, составить смету расходов.

### **4.2 Предпроектный анализ**

Предпроектный анализ позволит установить соответствие интересов инвестора и участника. Необходимо произвести анализ рынка электроэнергетики в области диагностики силового электрооборудования, также необходимо определить потребителей, дать оценку готовности проекта к коммерциализации.

#### 4.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

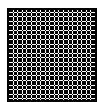
Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей.

Например, сегментировать рынок по изготовлению пленочного состава для обмоточных проводов можно по следующим критериям: коронноточивость к пробую, выполняемые функции (рисунок 4.1).

		Функции		
		ППИУ-200	ППИУТ-200	ППИУКТ-200
Устойчивость к пробую	Крупная			
	Средняя			
	Мелкие			

Рисунок 4.1 - Карта сегментирования рынка по разработке пленочного состава



Испытательные лаборатории, исследовательские институты, заводы



Производства по изготовлению пленочного состава для кабелей

В приведенном примере карты сегментирования показано, какие ниши на рынке услуг по разработке пленочного состава не заняты

конкурентами. Следовательно, выбираем пленочные составы для обмоток электродвигателя следующих типов: ППИУТ-200, ППИУКТ – 200.

#### 4.2.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности позволяет провести оценку эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Данный анализ проведен с помощью оценочной карты. Для сравнения выбраны следующие виды пленочной изоляции для электрических обмоток асинхронного электродвигателя: пленка ППИУ-200 (в таблице 4.2  $B_{\text{Э}}, K_{\text{Э}}$ ), пленка ППИУКТ-200 (в таблице 4.2  $B_{\text{ПГ}}, K_{\text{ПГ}}$ ), пленка ППИУТ-200 (в таблице 4.2  $B_{\text{ППУ}}, K_{\text{ППУ}}$ ).

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\text{Э}}$	$B_{\text{ПГ}}$	$B_{\text{ППУ}}$	$K_{\text{Э}}$	$K_{\text{ПГ}}$	$K_{\text{ППУ}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Продолжительность проведения обработки	3/0,058	4	5	2	0,232	0,29	0,116
2.Технологическая простота	5/0,096	5	5	3	0,48	0,48	0,288
3.Радиус воздействия	4/0,77	4	5	3	0,308	0,385	0,231
4.Экологическая безопасность	3/0,058	5	5	4	0,29	0,29	0,232
5.Универсальность для разных типов двигателя	4/0,077	5	5	4	0,385	0,385	0,308
6.Технологическая безопасность	5/0,096	5	5	3	0,48	0,48	0,288
7.Эффективность	5/0,096	5	5	4	0,48	0,48	0,384



Экономические критерии оценки эффективности							
1. Затраты электроэнергии	4/0,077	4	5	2	0,308	0,385	0,154
2. Уровень проникновения на рынок	2/0,038	3	4	3	0,414	0,308	0,114
3. Стоимость проведения операции	5/0,096	5	5	4	0,48	0,48	0,384
4. Продолжительность эффекта после обработки	5/0,096	5	5	4	0,48	0,48	0,384
5. Финснсирование научной разработки	3/0,058	2	5	1	0,116	0,29	0,058
6. Наличие сертификации разработки	4/0,077	5	5	5	0,385	0,385	0,385
Итого	52/1				4,838	4,891	3,326

По результатам экспертной оценки, пленочная изоляция ППИУ-200 является более конкурентоспособной, чем пленочная изоляция ППИУКТ-200, однако уступает пленочной изоляции ППИУТ-200 ввиду низкого проникновения на рынок и недостатка источников финансирования.

#### 4.2.3 SWOT – анализ

SWOT-анализ — метод стратегического планирования, используемый для оценки факторов и явлений, влияющих на проект или предприятие. Все факторы делятся на четыре категории: strengths (сильные стороны), weaknesses (слабые стороны), opportunities (возможности) и threats (угрозы). Сильные (S) и слабые (W) стороны являются факторами внутренней среды объекта анализа, (то есть тем, на что сам объект способен повлиять); возможности (O) и угрозы (T) являются факторами внешней среды (то есть тем, что может повлиять на объект извне и при этом не контролируется объектом). Например, предприятие управляет собственным торговым ассортиментом — это фактор внутренней среды, но законы о торговле не

подконтрольны предприятию — это фактор внешней среды. Метод включает определение цели проекта и выявление внутренних и внешних факторов, способствующих её достижению или осложняющих его [16].

Таблица 4.3 – SWOT-анализ

	<b>Strengths</b> (свойства проекта, дающие преимущества перед другими в отрасли)	<b>Weaknesses</b> (свойства, ослабляющие проект)
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Уникальность продукции.</li> <li>2. Востребованность.</li> <li>3. Отсутствие конкурентов (нет аналогов в РФ).</li> <li>4. Возможность проводить испытания доказывающие преимущества продукции.</li> <li>5. Возможность совершенствования технологий, улучшения качества продукции.</li> <li>6. Возможность участвовать в конференциях выставках, использовать интернет-ресурсы в целях рекламы.</li> <li>7. Тесное сотрудничество с производителем продукции.</li> <li>8. Разработки осуществляются при непосредственном участии ТПУ</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Низкая информированность потенциальных потребителей/</li> <li>2. Повышенная рыночная стоимость товара.</li> <li>3. Изменения условий поставки и стоимости проводов.</li> <li>4. Пассивность целевой группы.</li> <li>5. Информационные материалы могут быть использованы конкурентами.</li> </ol>

<b>Возможности:</b>	Выход на новые рынки – репутация, гибкая ценовая политика, активная роль маркетинга, уникальность. Расширение производства – активная роль маркетинга, высокий профессионализм.	Низкая информированность – активная реклама. Устранение перебоев в поставках – тесные связи с производителем. Низкая прибыльность, дополнительные издержки – выход на новые рынки.
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Расширение круга клиентов, географической зоны.</li> <li>2. Распространение рекламы.</li> <li>3. Четко налаженные поставки.</li> </ol>	Появление новых конкурентов – гибкая ценовая политика, активная роль маркетинга, репутация, акции. Низкий уровень входа на рынок – возможность участвовать в конференциях, выставках, использовать интернет-ресурсы в целях рекламы. Ужесточение условий сертификации – содействие ТПУ.	Низкая информированность потенциальных потребителей – Низкий уровень входа на рынок. Появление конкурентов –повышенная рыночная стоимость товара. Ухудшение поставок – сокращение потенциальных потребителей.

Необходимо всесторонне информировать потенциальных клиентов путем проведения рекламных компаний. Нарботанная связь с поставщиками материала обеспечивает своевременное и гарантированное обслуживание.

#### 4.2.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценим готовность проекта к коммерциализации, заполнив соответствующую таблицу.

Таблица 4.4 - Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	5
3.Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	5
4.Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5.Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
6.Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	1
7.Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8.Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	3
10.Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	5
11.Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13.Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	1
14.Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	5
15.Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
ИТОГО БАЛЛОВ	45	47

По суммарным значениям баллов, итоговое значение составило 47. Можно сказать, что проект обладает перспективностью выше среднего. Значение позволяет говорить о готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Тем не менее, произведенная оценка готовности научной разработки требует дальнейшего совершенствования проекта и более глубоких исследований в области маркетинга.

#### **4.2.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Это может быть получение финансирования для продолжения своих научных исследований и разработок (получение оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и т.д.), одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

Для данной разработки наиболее подходит инжиниринг, т.е. комплекс инженерно-консультационных услуг коммерческого характера по подготовке и обеспечению непосредственно процесса производства, обслуживанию сооружений, эксплуатации хозяйственных объектов и реализации продукции.

Возможна следующая схема коммерциализации: между НИ ТПУ и предприятием-заказчиком инжиниринговых услуг заключается хозяйственный договор. Исполнитель предоставляет необходимые материалы, купленные на средства предприятия-заказчика с использованием производственной базы НИ ТПУ, и услуги диагностики для предприятия-заказчика.

### 4.3 Инициация проекта

В рамках инициации определяются цели и содержание проекта, определяется объем финансирования. Определим заинтересованные стороны и их ожидания, результат сведем в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Руководитель проекта	Реализация проекта, получение гранта
Исполнитель проекта	Получение степени магистра
НИ ТПУ	Привлечение средств хозяйственных договоров, рост средней оплаты труда, рост рейтинга НИ ТПУ
Предприятия	Рост эффективности производства, качественное техническое обслуживание оборудования

Определим цели и результаты проекта, сведя их в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Проанализировать использование пленочной изоляции для обмоточного электродвигателя при различных условиях эксплуатации
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Отличия между тремя типами пленочных материалов, позволяющие выявить наиболее устойчивый к коррозийности
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Возможность обнаружения электрических и механических дефектов в обмотках при помощи модулированного напряжения. Определение вида дефекта. Высокая чувствительность. Упрощение процесса диагностики.
<b>Требования к результату проекта:</b>	Повышение эффективности и чувствительности диагностики
	Упрощение диагностики силового электрооборудования

#### 4.3.1 Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также необходимо прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Исполнителей и их роли в создании проекта сведем в таблицу 4.7

Таблица 4.7 Рабочая группа проекта

<b>ФИО, основное место работы, должность</b>	<b>Роль в проекте</b>	<b>Функции</b>	<b>Трудо-затраты, час.</b>
1.Леонов Андрей Петрович, НИ ТПУ, Доцент, к.т.н.	Руководитель проекта	1. Анализ имеющихся технических решений и результатов. 2. Проведение экспериментов	320
2.Леонов Андрей Петрович, НИ ТПУ, Доцент, к.т.н.	Эксперт проекта	Анализ имеющихся технических решений и результатов.	52
3.Ткачев Константин Васильевич, НИ ТПУ, Студент группы 5AM86	Исполнитель проекта	1. Подготовка и проведение экспериментов. 2. Анализ результатов экспериментов. 3. Анализ имеющихся технических решений и результатов.	980
<b>Итого:</b>			<b>1352</b>

### 4.3.2 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же “границы проекта” – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованны в рамках данного проекта.

Таблица 4.8 – Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения / допущения</b>
Бюджет проекта	600 000 рублей
Источник финансирования	Заводы изготовители
Сроки проекта	150 дней
Дата утверждения плана управления проектом	10.01.20
Дата завершения проекта	15.06.20
Прочие ограничения и допущения	Испытания проводить в условиях работы термошкафа не более 200°C из-за риска возникновения озона

#### 4.4 Планирование управления научно-техническим проектом

Особенность НИР в энергетической области это ее неповторимость, сложность и уникальность. Последовательность выполнения научно-исследовательской работы, а также ее содержание зависят от предмета исследования, сложности научно-исследовательской работы, актуальности и новизны темы.

##### 4.4.1 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты.

Таблица 4.8 – Контрольные события проекта

Контрольное событие	Дата	Результат
1. Составление ТЗ и его утверждение, разработка плана-графика	10.01.20	Составление плана работ
2. Начало изучения литературы	15.01.20	Составление схемы экспериментальной установки
3. Подбор необходимых материалов	11.02.20	Сборка экспериментальной установки
4. Снятие первых характеристик	01.03.20	Проверка работоспособности установки
5. Испытание образцов повышенным напряжением	09.03.20	Проверка эффективности образцов при повышенных нагрузках
6. Вывод о проведенных экспериментах	25.03.20	Написание основной части
7. Разработка направлений коммерциализации проекта	22.04.20	Заключение договора с предприятием - заказчиком и получение прибыли

#### 4.4.2 План проекта

В таблице 4.9 представлен список выполняемых работ по проекту, продолжительность и стоимость каждой работы, а также количество задействованных рабочих.

Таблица 4.9 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Поиск заказчика, заключение контракта	7 дней	10.01.20	17.01.20	Руководитель
2	Сбор информации и формирование концепции проекта	23 дня	18.01.20	11.02.20	Инженер
3	Разработка и утверждение плана работ заказчиком	7 дней	12.02.20	19.02.20	Руководитель
4	Доставка и приемка образцов заказчиком	22 дня	20.02.20	12.03.20	Инженер
5	Входной контроль и испытания опытных образцов	14 дней	13.03.20	27.03.20	Инженер
6	Анализ результатов испытаний	19 дней	28.03.20	17.04.20	Инженер
7	Сравнение с аналогами, выявление преимуществ	13 дней	18.04.20	01.05.20	Инженер
8	Разработка рекламных материалов	7 дней	02.05.20	09.05.20	Руководитель
9	Подготовка и сдача отчета по проекту	15 дней	10.05.20	25.05.20	Инженер
Итого		Инженер			106
		Руководитель			21



Диаграмма Ганта - тип столбчатых диаграмм, который используется для иллюстрации календарного плана проекта, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. [17]

Таблица 4.10 – Календарный план-график проведения НИОКР

Код работы	Вид работы	Исполнители	Т, кал. Дн.	Продолжительность работ														
				Янв.		Февр.			Март			Апрель			Май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Поиск заказчика, заключение контракта	Руководитель	7	<div></div>														
2	Сбор информации и формирование концепции проекта	Инженер	23		<div></div>													
3	Разработка и утверждение плана работ заказчиком	Руководитель	7				<div></div>											
4	Доставка и приемка образцов заказчиком	Инженер	22					<div></div>										
5	Входной контроль и испытания опытных образцов	Инженер	14						<div></div>									
6	Анализ результатов испытаний	Инженер	19								<div></div>							
7	Сравнение с аналогами, выявление преимуществ	Инженер	13										<div></div>					
8	Разработка рекламных материалов	Руководитель	7											<div></div>				
9	Подготовка и сдача отчета по проекту	Инженер	15												<div></div>			

 Инженер  Руководитель

#### 4.4.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.[18]

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 4.10.

Таблица 4.10- Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Марка,размер	Количество	Цена за единицу, руб	Сумма, руб.
АД с стандартным обмоточным проводом	ППИУТ-200	10 шт	7985,2	79852
АД с короностойким обмоточным проводом	ППИУКТ-200	10 шт	8020,9	80209
ОП стандартная оплетка	ППИУ-200	10 шт	828,26	8282,6
Пленочный состав обмоток двигателя	5x10	30 шт	59,1	1772,5
Трубки электроизоляционные	Металлическая 50x100	5 шт	240	1200
Итого за материалы и изделия				171316,1
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				8565,8
Итого по статье <i>Ст</i>				179881,9

## Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 4.11- Специальное оборудование для экспериментальных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб	Общая стоимость оборудования, тыс.руб
1.	Выключатель автоматический однополюсный IEK C BA47-29 16 A	2 шт.	112	224
2.	Осциллограф Tektronix TDS 1012B	1 шт.	51780	51780
3.	Щуп осциллографа	1 шт.	699	699
4.	Термошкаф	1 шт.	32290	32290
5.	Мультиметр MASTECH MAS830	1 шт.	850	850
Итого				85843

Т.о., общие затраты на опытный образец составили 265724,9 руб.

Основная заработная плата.

В рамках хоздоговорных работ предполагается компенсация трудозатрат руководителя и исполнителей проекта. Определим их, руководствуясь среднедневным размером оплаты труда, принятым в ТПУ.

Основная заработная плата сотрудника (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИР и определяется по формуле:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (1)$$

где  $Z_{осн}$  - основная заработная плата, руб;

$Z_{доп}$  - дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (2)$$

где  $T_{раб}$  - продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником раб. дн.

$Z_{дн}$  - среднедневная заработная плата работника, руб./день.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\partial}}, \quad (3)$$

где  $Z_m$  - месячный должностной оклад работника, руб./мес.;

$M$  - количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\partial}$  - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала. Составляет 247 дней.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\partial} \cdot k_p, \quad (4)$$

где  $Z_{\partial}$  - базовый оклад, руб./мес.;

$k_p$  - районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор. Базовый оклад определяется исходя из размеров окладов, определенных штатным расписанием предприятия.

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

Таблица 4.12- Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{б}$ , руб/мес	$k_p$	$Z_{м}$ , руб/мес	$Z_{он}$ , руб/день	$T_{раб}$ , раб.дн	$Z_{осн}$ , руб
Инженер	17000	1,3	22100	931	106	98686
Руководитель	26300	1,3	34190	1440	21	30240
Итого	43300		56290	2371		128926

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (5)$$

Таблица 4.13 - Заработная плата

Заработная плата	Инженер	Руководитель	Сумма
Основная зарплата	98686	30240	128926
Дополнительная зарплата	11842	3629	15471
Итого $C_m$	144397		

#### Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{соц}} = k_{\text{внеб}} \cdot C_{\text{ЗП}} \quad (6)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), равный 0,271, т.к. заключался хозяйственный договор с НИ ТПУ.

$$C_{\text{соц}} = 0,271 \cdot 144397 = 39131,59 \text{ руб.}$$

#### Затраты на оформление патента

Благодаря оформлению патентов на различные товары, способы создания изделий и т. д., есть возможность обеспечить защиту от контрабандного производства изделий, и не иметь проблем с законом, если вдруг на создаваемый товар получают патент и ваши конкуренты. Также авторство на патенты дает возможность вам получить доход от того, что вы передадите права на его применение другим лицам. Согласно законам РФ, изобретением может быть признано то или иное техническое решение различных отраслей, которое относится к продукту или способу его производства. На 2020 г. стоимость оформления патента составляет приблизительно 8000 руб.[19]

#### Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. Накладные расходы составляют 80-100 % бюджета проекта.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (7)$$

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot (128926 + 15471) = 115518 \text{ руб}$$

Таблица 4.14 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Сырье, материалы	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Оформление патента	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
179881,9	85843	128926	15471	39131,59	8000	115518	572770,2

#### 4.4.4 Реестр рисков проекта

Таблица 4.15 – Реестр рисков

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1. Отсутствие методики определения дефекта	Отсутствие спроса на технологию, снижение эффективности	3	2	Высокий	Выявление закономерностей диагностик и	Отсутствие экспериментальных и теоретических исследований
2. Низкое качество диагностики	Снижение спроса на технологию, снижение эффективности	4	4	Низкий	Жесткие требования к персоналу	Низкая квалификация персонала
3. Отсутствие финансовой поддержки проекта	Приостановка НИОКР	2	1	Высокий	Поиск инвесторов	Отсутствие инвесторов

#### 4.5 Оценка научно-технического уровня разработки

Научно-технический уровень характеризует влияние проекта на уровень и динамику обеспечения научно-технического прогресса в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности проекта используется метод балльных оценок. Балльная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям. На ее основе делается вывод о целесообразности разработки.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется интегральный показатель (индекс) ее научно-технического уровня по формуле:

$$I_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i \quad (8)$$

где  $I_{НТУ}$  - интегральный индекс научно-технического уровня

$R_i$  - весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта

$n_i$  - количественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Таблица 4.16 – Оценка научно-технического уровня разработки

Значимость	Фактор НТУ	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
0,4	Уровень новизны	Относительно новая	4	Облегчит проведение испытаний качества изоляции. Повысит уровень техники безопасности.
0,4	Теоретический уровень	Разработка способа	6	Разработка принципиальной схемы и повышение короностойкости проводов в целом.
0,2	Возможность реализации	В течение первых лет	10	Быстрое наполнение базы клиентов



Отсюда интегральный показатель научно-технического уровня для проекта составляет:  $I_{НТУ} = 0,4*4 + 0,4*6 + 0,2*10 = 1,6 + 2,4 + 2 = 6$

Таблица 4.17 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Высокий НТУ

Исходя из данных таблицы 4.17, данный проект имеет средний уровень научно-технического эффекта.

#### 4.6 Выводы по главе

Анализ отечественного и зарубежного рынка показал, что в настоящее время существует проблема увеличения надежности ЧРП с ШИМ. На территории Российской Федерации только один завод занимается производством короностойких проводов – ЗАО «Сибкабель», а приобретение зарубежных аналогов включает в себя дополнительные расходы и увеличение сроков доставки.

Оценка конкурентоспособности, приведенная в данном разделе, показала целесообразность разработки и внедрения короностойкого обмоточного провода.[20]

Разработан план внедрения нового типа обмоточных проводов, составлена смета расходов, диаграмма Ганта, итоговая себестоимость проекта составила 572770,2 тысяч рублей.

Таким образом, проект по разработке и внедрению короностойких обмоточных проводов является эффективным и экономически целесообразным.

## **5 Социальная ответственность**

Возникновение преждевременных отказов, широко применяемых в частотно-регулируемых приводах с широтно-импульсной модуляцией, подтолкнуло к изучению причин их выхода из строя. Оказалось, что на лобовых частях обмотки, воздушных порах возникают перенапряжения, так называемые коронные разряды, которые ускоряют процессы старения изоляции. Для исследования данной проблемы на базе лаборатории ТПУ был разработан и смонтирован комбинированный учебно-лабораторный стенд для проведения высоковольтных и высокочастотных испытаний изоляции обмоточных проводов и систем изоляции обмотки на стойкость к действию коронных разрядов.

В процессе испытаний возникает опасность поражения людей электрическим током, получение ожога при работе с термошкафом и образуются продукты распада при старении изоляции (озон). Пожар выступает в качестве возможной чрезвычайной ситуации на рабочем месте. Поэтому необходимо обеспечить электробезопасность, разработать мероприятия и средства, обеспечивающие защиту людей от воздействия электрического тока и других вредных и опасных факторов.

Рассматриваемое рабочее место инженера-проектировщика находится в лабораторном помещении. Месторасположение инженера-проектировщика находится в 8 корпусе в 227 аудитории. Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 “Система стандартов безопасности труда”. Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м<sup>2</sup>, высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м<sup>3</sup> на одного человека. По факту: площадь аудитории составляет 22 м<sup>2</sup>, высота 4м, объем 20 м<sup>3</sup>. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. 90 мм. Под столом должно иметься пространство для

ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключающий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте. Имеется испытательная установка, а именно термошкаф с соответствующей вентиляцией. Рабочее место сотрудника аудитории 227, 8 корпуса ТПУ соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78

## **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.**

### **5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

По ходу работы будут рассмотрены следующие нормативные документы, а именно: СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, СанПиН 2.2.2.542-96, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, СанПиН 2.2.4.1191-03, СП 52.13330.2011, СанПиН 2.2.4.548-96

Согласно трудового кодекса Российской Федерации с последними изменениями и поправками на 2020 год, работник аудитории 227, 8 корпуса ТПУ имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;

- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

## **5.2 Производственная безопасность**

В разделе производственной безопасности с точки зрения социальной ответственности целесообразно рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке технологии или работе с оборудованием, а также требования по организации рабочего места.

### **5.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов**

Образующийся в процессе старения изоляции озон по параметрам острой токсичности относится к 1 классу опасности. Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [21]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы. Каждый вредный фактор рассматривается по следующему плану:

- 1) источник возникновения фактора;
- 2) воздействие фактора на организм человека;
- 3) приведение допустимых норм с необходимой размерностью, а также при возможности проводится анализ на соответствие нормам;

4) предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные) для минимизации воздействия фактора.

Таблица 5.1 Опасные и вредные факторы при выполнении работ

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработ ка	Изготовл ение	Эксплуат ация	
1.Повышенный уровень озона			+	1. ГОСТ 31829-2012 Оборудование озонаторное. Требования безопасности 2.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий 3. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» 4.СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений 5.СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях
2.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
3.Повышенный уровень шума на рабочем месте		+	+	
4.Неудовлетворительный микроклимат	+	+	+	
5.Повышенный уровень напряженности		+	+	

### 5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Предельно допустимая концентрация (ПДК) озона в воздухе рабочей зоны – 0,1 мг/м<sup>3</sup>, максимальная разовая ПДК озона в атмосферном воздухе – 0,16 мг/м<sup>3</sup>, средняя суточная ПДК озона в атмосферном воздухе – 0,03 мг/м<sup>3</sup> согласно ГН 2.2.5.1313. – 03. Предельно допустимые концентрации (ПДК)

вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы. [22]  
 При вдыхании высоких концентраций озона ( $9 \text{ мг/м}^3$ ) и выше может появиться кашель, раздражение глаз, головная боль, головокружение и за груди́нные боли. Для защиты персонала от воздействия озона обязательно систематическое проветривание помещения после получаса работы установки. Иным способом является установка вытяжки, которая обеспечивает постоянное устранение вредных веществ.

#### *Микроклимат:*

Микроклимат производственных помещений определяется совокупным воздействием на организм человека температуры, влажности, скорости движения воздуха, теплового излучения нагретых поверхностей. Микроклимат различных производственных помещений зависит от колебаний внешних метеорологических условий, времени дня, года, особенностей производственного процесса и систем отопления и вентиляции.

Лаборатория относится к классу работ с интенсивностью энергозатрат 120 – 150 ккал/час. В производственных помещениях, в которых работа с лабораторными стендами является основной и связана с нервно-эмоциональным напряжением, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата для категории работ 1а и 1б в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами микроклимата производственных помещений.

Таблица 5.2 – Параметры микроклимата для производственных помещений

Период года	Параметр микроклимата	Величина
Холодный и переходный	Температура воздуха в помещении	22 – 24 °С
	Относительная влажность	40 – 60 %
	Скорость движения воздуха	до 0,1 м/с
Теплый	Температура воздуха в помещении	23 – 25°С
	Относительная влажность	40 – 60 %
	Скорость движения воздуха	0,1 – 0,2 м/с

Для обеспечения достаточного постоянного и равномерного нагревания воздуха в рабочих аудиториях в холодный период года используется отопление. Температуру в помещении следует регулировать с учетом тепловых потоков от оборудования. Стенд нужно устанавливать так, чтобы тепловые потоки от него не были направлены на студентов.

С целью поддержания параметров микроклимата в допустимых пределах, а также комфортные условия работы магистрантов применяется кондиционирование воздуха. Кондиционирование воздуха обеспечивает поддержание параметров микроклимата в течение всех сезонов года, очистку воздуха от пыли и вредных веществ.

#### *Шум:*

Другим вредным фактором, оказывающим пагубное воздействие на здоровье человека, является шум.

Согласно СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах" нормативным эквивалентным уровнем звука на рабочих местах является 80 дБА. [23]

Влияние шума на слуховой анализатор проявляется в ауральных эффектах, которые, главным образом, заключаются в медленно прогрессирующем понижении слуха по типу неврита слухового нерва (кохлеарный неврит). Подвергающиеся шумовому воздействию люди, чаще всего жалуются на головные боли, которые могут иметь разную интенсивность и локализацию, головокружение при перемене положения тела, снижение памяти, повышенную утомляемость, сонливость, нарушения сна, эмоциональную неустойчивость, снижение аппетита, потливость, боли в области сердца, согласно ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. [24]

1. Источником шума при работе на установке является импульсный трансформатор, входящий в состав электронно-измерительного блока. Для уменьшения шумового воздействия на человека используются

индивидуальные и коллективные средства защиты. Противошумные наушники и вкладыши могут использоваться, как средства индивидуальной защиты, согласно ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. [25]

*Освещенность:* В лаборатории должны быть соблюдены нормы освещенности и качественные показатели освещения в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03[26]. Помещение должны иметь естественное и искусственное освещение. Естественное освещение должно осуществляться через боковые светопроёмы. Искусственное освещение должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

Освещенность рабочей поверхности должна составлять 300-500 лк. Коэффициент пульсации освещенности не более 10 %. Коэффициент естественной освещенности КЕО в лабораторных помещениях должен быть не ниже 1,2%. - при боковом освещении и 3,5% - при верхнем или комбинированном освещении. Коэффициент искусственной освещенности КЕО в лабораторных помещениях должен быть не ниже 0,7%. - при боковом освещении и 2,1% - при верхнем или комбинированном освещении

Произведем расчет искусственного освещения для рабочей лаборатории № 227 8 корпуса ТПУ, в которой проходят лабораторные работы по дисциплине «Физика диэлектриков». Лаборатория имеет следующие размеры:

ширина – 6,5 м,

длина - 8 м,

высота – 3 м,

площадь - 52 м<sup>2</sup>.

Порядок расчёта:

- 1) выбор типа светильников,
- 2) определение количества светильников,



### 3) определение мощности источников света.

В лаборатории предусмотрено общее равномерное освещение, для которого применяются люминесцентные лампы типа ЛБ (лампы белого цвета), для которых используется светильник типа ОД - 2-30 (длинной 933 мм, шириной 204 мм). Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами:

$H$  - высота помещения (4 м);

$h_c = H - h_n$  - расстояние светильников от перекрытия (свес);

$h_n$  - высота светильника над полом, высота подвеса;

$h_p$  - высота рабочей поверхности над полом;

$h = h_n - h_p$  - расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью;

$L$  - расстояние между соседними светильниками или рядами;

$l$  - расстояние от крайних светильников или рядов до стены (оптимальное расстояние / рекомендуется принимать равным  $L/3$ );

$\lambda$  - интегральный критерий оптимальности расположения светильников.

Для светильника типа ОД - 2-30  $h_n = 4$  м. Тогда  $h_c = 4 - 3 = 1$  м.

Учитывая, что  $h_p = 0,7$  м, найдём  $h = h_n - h_p = 3 - 0,7 = 2,3$  м.

Для светильников типа ОД  $\lambda = 1,4$ , поэтому

$$L = \lambda \cdot h = 1.4 \cdot 2.3 = 3.22 \text{ м}$$

$$l_a = \frac{\lambda}{3} = \frac{3.22}{3} = 1.07 \text{ м}$$

$$l_b = \frac{6,5 - 2 \cdot 0.204 - 1 \cdot 3.22}{2} = 1.436 \text{ м}$$

На основе данных расчетов рекомендуется разместить светильники в 2 ряда. В каждом из которых можно установить 3 светильника типа ОД - 2

мощностью 30 Вт. При этом разрывы между светильниками в ряду составят 0,3 м. Учитывая, что в каждом светильнике установлено по две лампы, общее число ламп в помещении составит  $(3 \cdot 2) \cdot 2 = 12$ .

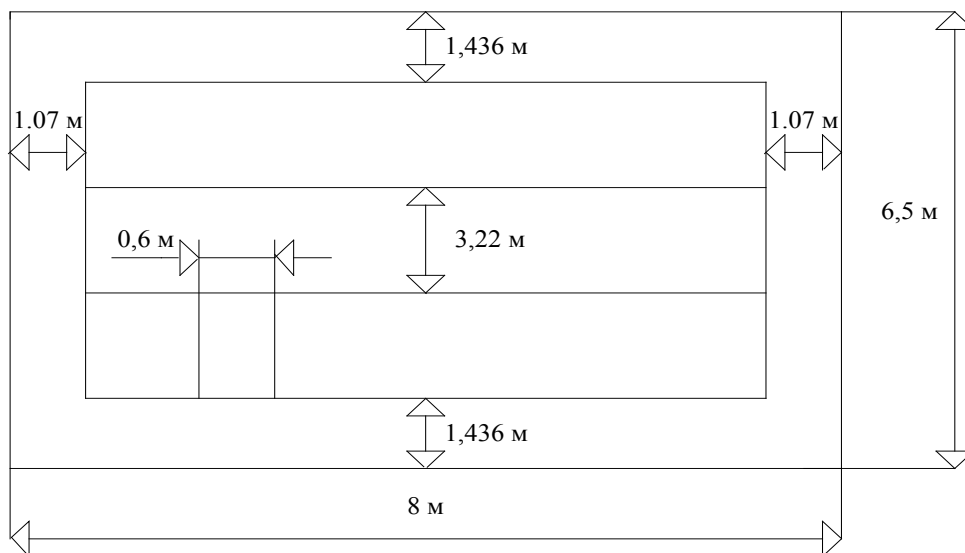


Рисунок 5.1 – План помещения и размещения светильников

Расчет общего равномерного освещения выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отраженный от потолка и стен. Световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$F = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot \eta}$$

где  $E_n$  - нормируемая минимальная освещенность (для данной категории помещений  $E_n$  - 400 лк) ;

$S$  - площадь освещаемого помещения (52 м<sup>2</sup>);

$K_3$  - коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, запыленность ( $K_3 = 1,5$  - для помещений с малым выделением пыли);

$Z$  - коэффициент неравномерности освещения (для люминесцентных ламп берется равным 1,1);

$n$  - число ламп (12);

$\eta$  - коэффициент использования светового потока - показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен  $p_c$  и потолка  $p_n$ .

Расчет индекса помещения осуществляется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (a+b)}$$

где  $S$  - площадь помещения ( $52 \text{ м}^2$ );

$h$  - высота подвеса светильников над рабочей поверхностью ( $2,5 \text{ м}$ );

$a, b$  - длина и ширина помещения ( $a = 8 \text{ м}$ ;  $b = 6,5 \text{ м}$ ).

В результате  $i = \frac{52}{2,5 \cdot (8+6,5)} = 1,56$ .

Коэффициенты отражения  $p_c$  и  $p_n$  имеют следующие значения:

$p_c = 50\%$  (стены свежепобеленные с окнами без штор);  $p_n = 70\%$  (потолок свежепобеленный).

Для полученных значений  $p_c$ ,  $p_n$  и  $i$  коэффициент использования светового потока  $\eta = 53\%$ , или  $\eta = 0,53$ . Подставляя полученные значения в формулу, найдем значение минимально требуемого светового потока для рабочей аудитории:

$$F = \frac{300 \cdot 52 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,53} = 4047 \text{ лк.}$$

2. Рассчитав световой поток  $F$ , зная тип лампы, выберем ближайшую стандартную лампу и определим электрическую мощность всей осветительной системы. Ближайшая стандартная лампа - ЛД 80 Вт с потоком 4250 лк. Напряжение сети 220 В. По результатам данного расчета можно сделать следующий вывод. Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 – Гигиенические требования к естественному, искусственному и

совмещённому освещению жилых и общественных зданий. [27] В рабочей аудитории с размерами 6,5 х 5 х 4 м. со свежепобеленными потолком и стенами, с окнами без штор следует использовать 6 светильников типа ОД – 2-30 с люминесцентными лампами ЛБ мощностью 80 Вт с потоком 4250 лк.

#### *Электробезопасность:*

Электрический ток, проходя через живой организм, оказывает термическое, электролитическое, биологическое действия. Термическое действие проявляется в ожогах, нагреве и повреждении кровеносных сосудов, перегреве сердца, мозга и других органов, что вызывает в них функциональные расстройства. Электролитическое действие проявляется в разложении органической жидкости, в том числе крови, что вызывает значительное нарушение ее состава, а также ткани в целом. Биологическое действие выражается в нарушении внутренних биоэлектрических процессов. Степень опасного воздействий на человека электрического тока зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути прохождения тока через тело человека;

Лабораторию, по степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности, согласно ПУЭ [28].

Токоведущие части электроустановки не должны быть доступны для случайного прикосновения, а доступные прикосновению открытые и сторонние проводящие части не должны находиться под напряжением, представляющим опасность поражения электрическим током.

В первую очередь должны быть соблюдены требования, предъявляемые к защитному заземлению. Требуемые значения напряжений прикосновения и сопротивления заземляющих устройств при стекании с них токов замыкания на землю и токов утечки должны быть обеспечены при наиболее неблагоприятных условиях в любое время года. Заземляющие

устройства должны быть механически прочными, термически и динамически стойкими к токам замыкания на землю.

В электроустановках напряжением выше 1 кВ для защиты от поражения электрическим током должно быть выполнено защитное заземление открытых проводящих частей. В таких электроустановках должна быть предусмотрена возможность быстрого обнаружения замыканий на землю. Защита от замыканий на землю должна устанавливаться с действием на отключение по всей электрически связанной сети в тех случаях, в которых это необходимо по условиям безопасности (для линий, питающих передвижные подстанции и механизмы, торфяные разработки и т.п.).[29]

Перед началом эксплуатации электроустановки:

- необходимо проверить исправность защитного заземления и средства автоматического отключения питания;
- запрещается пользоваться поврежденными розетками, рубильниками, другими электроустановочными изделиями.

При работе с термощкафом необходимо соблюдать меры безопасности, чтобы не получить термический ожог. Для этого применяются перчатки или рукавицы из хлопчатобумажной, льняной ткани или грубодисперсного сукна, или других тканей с защитными накладками [30].

В помещении, которое по окончании работ закрывается и не контролируется дежурным персоналом, все электроустановки и электроприборы должны быть обесточены (за исключением дежурного освещения, автоматических установок пожаротушения, пожарной и охранной сигнализации, а также электроустановок, работающих круглосуточно). [31,32]

### **5.3 Экологическая безопасность**

В результате в диссертационной работе будет исследована зависимость, которая, возможно, позволит разработать рекомендации по

улучшению электрофизических и механических характеристик изоляции для обмоточных проводов, непосредственно на этапе ее производства и эксплуатации.

Последствия росту рабочих характеристик будет оптимизация производства и увеличение его объема. Развитие промышленности негативно сказывается на экологии, являясь источником различных видов загрязнений воды, воздуха, земной коры, а также основным потребителем топливных ресурсов, определяющим уровень его добычи

Возможное улучшение рабочих характеристик, а также стойкости к различным разрушающим воздействиям на пленочную изоляцию можно рассмотреть двумя вариантами.

С одной стороны, увеличение стойкости изоляции к различным воздействиям приведет к увеличению срока службы, что в свою очередь положительно скажется на количестве отходов - большой срок службы позволяет уменьшить потребность и соответственно сократить количество отходов в год.

Но с другой - улучшение стойкости пленки приведет к увеличению продолжительности их разложения. То есть со временем все больше и больше отходов будут храниться в земле.

Решением этой проблемы является, во-первых, разработка и использование технологий, позволяющие максимально экологично перерабатывать полимеры, у которых закончился срок службы. Во-вторых, проблема должна решаться и за счет эффективного и экономного использования электроэнергии самими потребителями. Использование более экономичного оборудования, а также эффективного режима загрузки этого оборудования. Сюда также включается соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии.

Организации, в которой предполагается использовать разработанную рекомендацию, влияют на окружающую среду как потребитель

электроэнергии, поскольку здесь работает большое количество электрооборудования и осветительных приборов.

Необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением.

#### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.1.004-91. [33] По пожарной, взрывной, взрывоопасной опасности лаборатория, в которой производились испытания относятся к категории Д – негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Лица допускаются к работе на электроустановки после прохождения первичного инструктажа. Обучение лиц мерам пожарной безопасности осуществляется путем проведения повторного инструктажа один раз в год. [34]

Причинами возгорания электроустановки могут служить:

- несоблюдение техники безопасности;
- короткое замыкание (в случае неисправности блокировок, средств автоматического отключения питания);
- перегрев токоведущих частей и электроизмерительного блока.

Помещение, в котором производилось исследование(лаборатория), оборудовано пожарной сигнализацией, которая позволяет оповестить дежурный персонал о пожаре, а также дает сигнал об эвакуации. В качестве пожарных извещателей в помещении устанавливаются дымовые фотоэлектрические извещатели типа ИДФ-1 или ДИП-1 [35]

План эвакуации людей из помещения, где проводятся испытания на высоковольтной и высокочастотной установки, показан на рисунке 5.2

## ПЛАН ЭВАКУАЦИИ

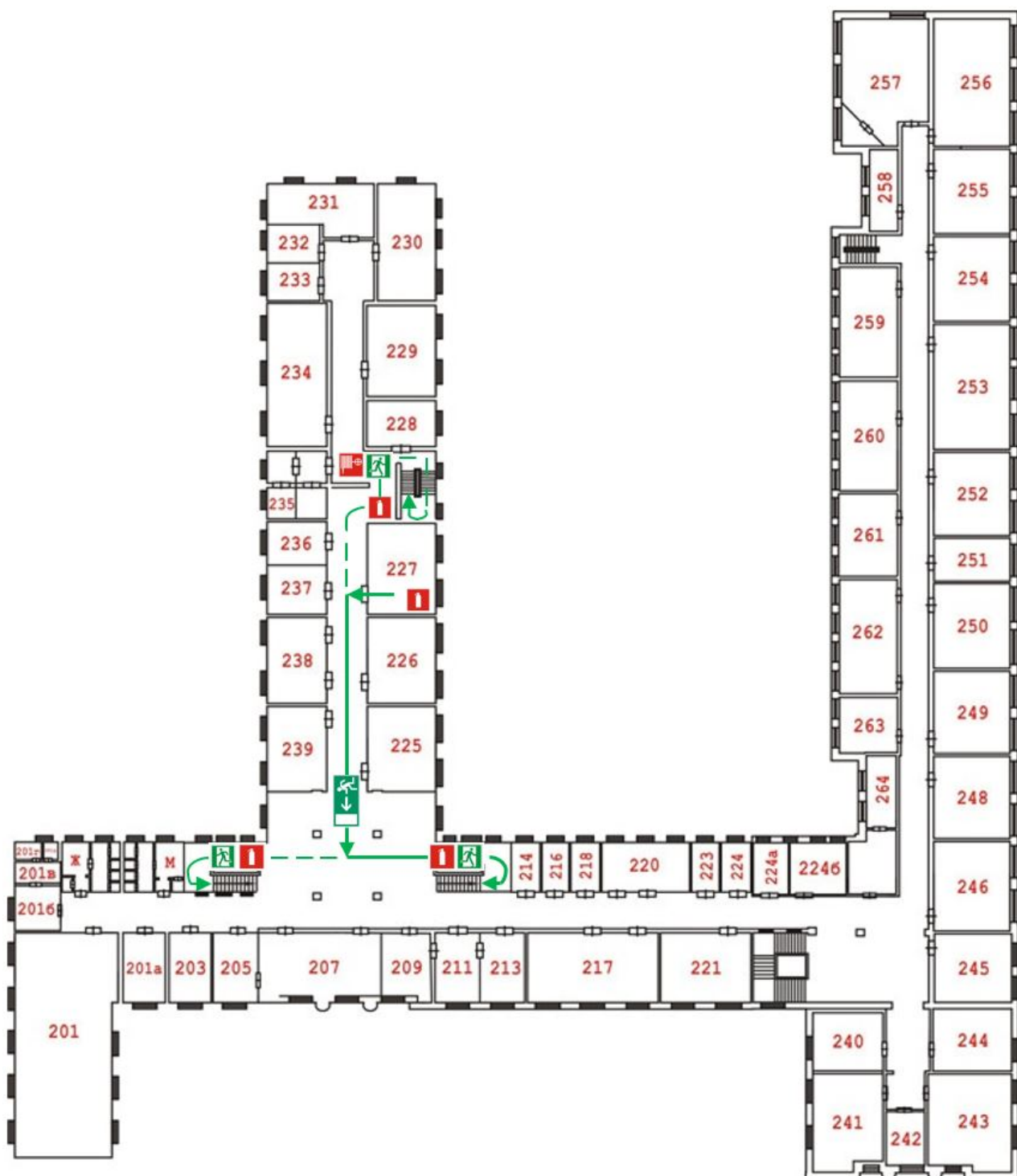


Рисунок 5.2– План эвакуации (2 этаж)

Сплошная линия – основной путь эвакуации, пунктирная – запасной.



## 5.5 Вывод по главе

Основным фактором, влияющим на производительность людей, работающих с учебно-лабораторным стендом, являются комфортные и безопасные условия труда. Условия труда магистрантов в рабочей аудитории характеризуются возможностью воздействия на них следующих производственных факторов: шума, тепловыделений, выделение вредных веществ, а именно выделение озона, действие микроклимата, недостаточной освещённости, параметров технологического оборудования и рабочего места.

Как итог, проанализировали вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке электродной системы узла. Выявили предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате разработки и реализации магистерской диссертации. Затем указали вероятный вид ЧС, источник возникновения и разработали превентивные меры по предупреждению возникновения[36]. Отсюда следует, что рабочее место сотрудника аудитории 227, 8 корпуса ТПУ соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

Таким образом, в разделе социальная ответственность были рассмотрены вопросы техники безопасности при работе с электрооборудованием на напряжение свыше 1 кВ, а также проанализированы вредные и опасные факторы, влияющие на здоровье человека. Были отмечены также источники негативного воздействия, меры коллективной и индивидуальной защиты [37].

## **Заключение**

При выполнении магистерской диссертации был проведен литературный обзор, в котором рассматривались условия эксплуатации обмоток частотно-регулируемого привода на базе широтно-импульсной модуляции, основные электроизоляционные материалы и обмоточные провода, применяемые при изготовлении электрических двигателей, методы определения стойкости межвитковой изоляции к электрическим разрядам и пути повышения надежности изоляции двигателей.

В методической части была приведена оригинальная методика определения стойкости пленочной изоляции обмоточных проводов к действию коронных (поверхностных) разрядов, основанная на помещении образцов провода с применением электродной системы в среду действия коронных разрядов и измерении среднего времени до пробоя.

В экспериментальной части приведены результаты по оценке стойкости изоляции обмоточных проводов и межвитковых систем изоляции к воздействию коронных (поверхностных) разрядов на высокочастотном лабораторном стенде. Испытуемые образцы обмоточных проводов с пленочной изоляцией: ППИУ и ППИУТ имеют высокие показатели прочности при растяжении, также обладают повышенными характеристиками влагостойкости и электрической прочности.

В разделе менеджмент был исследован планируемый рынок сбыта короностойких обмоточных проводов, оценена конкурентоспособность инженерного решения, разработан план и график внедрения проводов. В результате, была представлена экономическая эффективность и целесообразность применения короностойких обмоточных проводов.

В разделе социальная ответственность рассмотрены вопросы техники безопасности при работе с электрооборудованием на напряжение свыше 1 кВ, а также проанализированы вредные и опасные факторы, влияющие на здоровье человека.

### Список используемых источников:

1. Типы асинхронных двигателей, разновидности, какие бывают двигатели » Школа для электрика: электротехника и электроника [Электронный ресурс]. <http://electricalschool.info/spravochnik/maschiny/1634-tipy-asinkhronnykh-dvigateljj.html>
2. Бернштейн Л.М. Изоляция электрических машин общего назначения. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 376 с.,
3. Частотное регулирование электроприводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.e-audit.ru/chrp/index.shtml>
4. Пешков И.Б. Обмоточные провода: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1995. -416 с.:
5. Входные и выходные фильтры для частотного преобразователя - назначение, принцип действия, подключение, особенности » Школа для электрика: электротехника и электроника [Электронный ресурс]. <http://electricalschool.info/spravochnik/eltehustr/1970-vkhodnye-i-vykhodnye-filtry-dlja.html>
6. ГОСТ 28114-89. Метод измерения частичных разрядов
7. Электроизоляционные материалы и системы изоляции для электрических машин: в 2 кн. / под ред. В. Г. Огонькова, С. В. Серебрянникова. — М.: Изд-во МЭИ, 2012 Кн. 2. — 2012. — 302 с.: ил.. — Библиогр.: с. 295-302.. — ISBN 978-5-383-00751-8.
8. Астахин В.В. Трезов В.В. Суханова И.В .: Электроизоляционные лаки, пленки и волокна. Москва : Химия, 1986 – 157 с.
9. ГОСТ Р МЭК 60851-5— 2008. Провода обмоточные. Методы испытаний
10. Провод ППИ-У – КамКабель [Электронный ресурс]. [https://www.kamkabel.ru/production/catalog/kabeli-i-provoda-spetsialnye/obmotochnye/obmotochnye\\_592.html#KMAT-245113C61000000](https://www.kamkabel.ru/production/catalog/kabeli-i-provoda-spetsialnye/obmotochnye/obmotochnye_592.html#KMAT-245113C61000000)

11. Электроизоляционные материалы и системы изоляции для электрических машин. В двух книгах. Кн. 1 / Ю.М. Евтушенко и др.; под ред. В.Г. Огонькова, С.В. Серебрянникова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. — 272 с.
12. Койков С.Н., Цикин А.Н. Электрическое старение твердых диэлектриков, 1968. 186с.
13. Андрианов В.К., Пешков И.Б., Мещанов Г.И., Бураков О.Б. Короностойкий обмоточный провод // Патент на изобретение 2008133291/22 опубл. 27.09.2009
14. Койков С.Н., Фомин В.А. Разрушение полиэтиленовой пленки в газовом разряде, направленном перпендикулярно и параллельно поверхности пленки. 1969, 11Б, с. 224-228.
15. Дудкин А.Н., Ким В.С. Электротехническое материаловедение. Учебное пособие. — Томск: Издательство ТПУ, 2004. — 198 с.
16. Чайникова Л.Н. Конкурентоспособность предприятия: учеб. пособие / Чайникова Л.Н., Чайников В.Н., - Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. — 192 с.
17. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. — 73 с.
18. Пешков И.Б. Обмоточные провода: учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1995. -416 с.:
19. Провода медные круглые, пленочные, короностойкие с двухслойной изоляцией, с температурным индексом 200//Каталок продукции ЗАО «Сибкабель»
20. Рыжикова О.Н. Управление рисками инновационных проектов // Аудит и финансовый анализ №1, 2009 — 4 с

21. ГН 2.2.5.1313. – 03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы. Минздрав России, 1998
22. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
23. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
24. СНиП П–12–77. Защита от шума.
25. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
26. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 –Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий
27. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. - Томск: Изд. ТПУ, 2004. - 15 с.
28. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд
29. ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
30. ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
31. ГОСТ 12.1.030-81. Защитное заземление, зануление.
32. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
33. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. И-1-1-95. (с изменениями № 1).
34. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. №69-ФЗ. О пожарной безопасности.
35. НПБ 166-97. Пожарная техника. Огнетушители. Требования к эксплуатации.

36. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96.  
"Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений"
37. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

## Приложение А

### Assessment of the influence of electrothermal loads on the insulation of winding wires

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM86	Ткачев Константин Васильевич		

Консультант отделения электроэнергетики и электротехники:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воробьева Виктория Владимировна	к.ф.н., доцент		

The research is vital because with the intensive growth of power semiconductor and microprocessor technology, it becomes more possible to create frequency control by an electric drive (VFD). VFD allows us to more accurately control the moment and speed of the drive by the given coordinates, which ensure the nature of the load. The advantages of using VFD include the following factors: high accuracy of regulation, energy saving in case of variable load (engine with partial load), increased life of the equipment, maintaining a constant speed of rotation with changing loads, provides a smoother starting of the engine, significantly reducing the wear of parts and etc. Due to the advantages listed above, it becomes possible to use a frequency-controlled drive in various fields of activity, and to be more precise: in conveyor belts in oil-extracting industries (centrifugal pumps), in air cooling and water supply systems.

**The aim of the present work** is the assessment of the influence of modulating voltage on the average time of the breakdown of the cable insulation.

**The objectives of the work are:**

- to study in more detail magnitude of electrical overvoltages in the interturn isolation of windings;
- to work out its own technique for conducting experiments to assess the resistance of the interturn insulation of windings in the CRF system to the effect of electrothermal loads;
- to carry out a series of comparative tests on the resistance of the interturn isolation of windings to the electrical thermal loads;
- to work out recommendations on the application of materials for the interturn isolation of windings taking into account the features of operation in frequency control systems;
- to assess the effect of impregnating composition on the average time to breakdown.

The research object is the polyimide film winding wire brand (PPIU-200, PPIUT-250).



**The research methods are:** testing of samples with polyimide film, determination of the average time to sample breakdown and interpretation of the obtained laboratory-analytical data.

**The practical value of the work:** the experimental data obtained can be recommended to the winding manufacturer for the purpose of selecting the material for the windings of electrical machines.

**Structure and volume of the work:** The present work has 106 pages. It consists of introduction, 5 basic units, conclusion, references and appendices.

## **1 Methodical part**

### **1.1 Methods of preparation of samples**

Sample preparation is carried out by cutting the wire of the desired length. The length of the test sample is 125 mm.



Figure 1.1 - Example of wires

The design of the electrode system in which the samples will be tested is carried out. This allows you to test samples of film insulation, while not allowing the mechanical failures of the insulation layers during winding, which also provides a tight contact sample with the electrode. The diameter of the rod should be larger than the transmission wire. The rod is under potential - the rest of the body is grounded. This electrode system also allows for installation work outside the heat chamber. The length, width and height of the aluminum frame are 190 mm. The use of the electrode assembly will also allow testing without the use of conglomerating materials in the case of production of direct samples.

Testing procedure:

1. Prepare the required number of samples for each aging time. Place samples in a heating cabinet.
2. Set the required test temperature in the heat chamber (it is selected depending on the temperature of the heat resistance class).
3. Apply a high-frequency electrical signal to the samples.
4. Through consistent testing, obtain samples with different aging times.

## **1.2 Methodology for determining the corona resistance of wires with film insulation**

The electrode system, together with samples wound around a copper tube, is placed in a heating cabinet. People who have been taught on safety precautions training and passed the test are allowed to work at high voltage installations.

Tests on high-voltage installations are allowed to be carried out only in the presence of two specialists, one of whom is the head of work. Prior to switching on high voltage, all doors and guards must be tightly closed. Voltage can only be turned on with the permission of the supervisor.

A laboratory bench with a high-frequency unit has the following characteristics: supplied AC voltage with an amplitude of 1200 V, a frequency of 400 Hz with a frequency (modulation) of quantization of voltage of 5 kHz (wave front duration) a rising edge slope of 4  $\mu$ s, and a temperature corresponding to the heat resistance of the winding wire with 200 degree film insulation.

During the tests, the blue glow of the corona should be clearly visible on the twist surface. The criterion of corona resistance is the average time before the breakdown of electrical insulation

## 2 Experimental part

### 2.1 Objects of the research

In this work, the objects are winding wires of the PPIU-200, PPIUT-250.

#### PPIU-200



Figure 2.1 - Winding wire grade PPIU-200

1- Copper wire with a diameter of 1.06 to 3.15 mm; 2 - Insulation of two layers of polyimide-fluoroplastic films.

The wire is intended for winding stators of submersible oil-filled electric motors. The superior electrical properties of the wire provide a high degree of reliability for equipment subject to overloads. PPI-U brand wire has excellent mechanical properties and elasticity. The working life of wires in the insulation system of submersible electric motors at an ambient temperature of up to  $+140^{\circ}\text{C}$  is at least 25,000 hours.

#### PPIUT-250

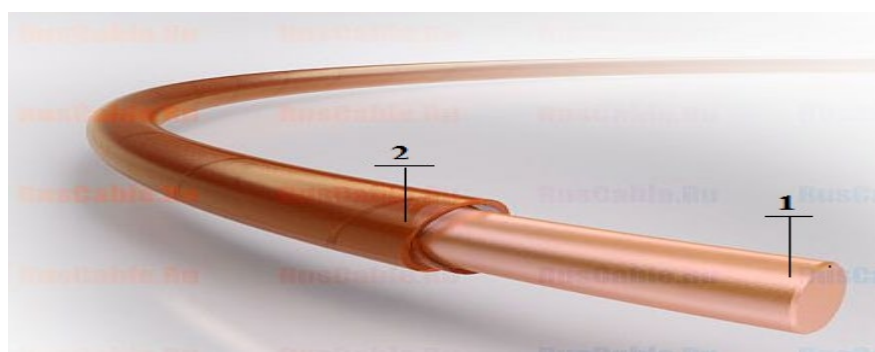


Figure 2.2 - Winding wire grade PPIU-250

- 1- Copper wire with a diameter of 1.06 to 3.15 mm; 2 - Insulation of two layers of polyimide-fluoroplastic films.

The wires are intended for the manufacture of stator windings of oil-submersible electric motors with a high temperature index. PPIUT 250 wire is designed to operate at a temperature of 250°C. Due to the high electrical, mechanical characteristics and chemical stability, the wires provide a high degree of reliability of products operating in extremely difficult operating conditions: significant long-term overloads, vibration, high humidity and liquid harsh environment.

The polyimide film is usually insoluble, non-melting, non-combustible, it has high heat resistance and electrical properties, which remain almost permanent over a wide temperature range. The temperature of zero strength of the polyimide film (the temperature of destruction of the sample under a load of 0.14 MPa for 5 s) is 815 °C, the breakdown temperature (according to the Du Pont method) of a film 25 µm thick is 435 °C, and a thickness of 50 to 125 µm is about 525 °C. In addition to high dielectric characteristics, the polyimide film is resistant to acids, oils, organic solvents, as well as radiation resistance.

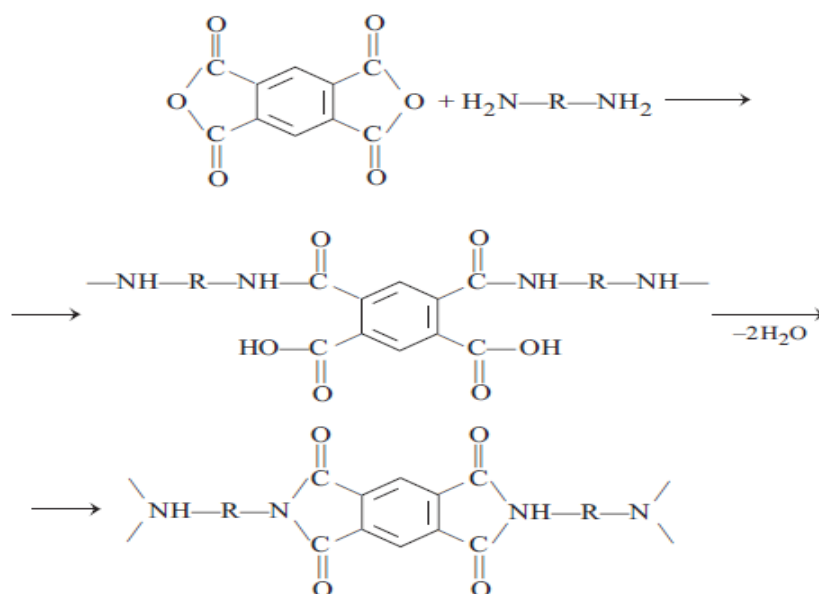


Figure 2.3 - The structural formula of polyimide

Polyamides are characterized by high resistance to organic solvents, oils and diluted acid, but they are unstable to alkalis and superheated vapors, under the action of which they are hydrolyzed. Such films form a continuous insulation on the wires when the insulated wire is heated.

## 2.2 Determination of the average time before the breakdown of winding wires with film insulation

The experiments were carried out at a modulated voltage and temperature equal to the heat resistance class of the wire. Tests were carried out both on straight twists and using the electrode system of the assembly. An experimental assessment of the average time to breakdown was also carried out. The results are presented in figure 2.4 and table 2.1.

Table 2.1 - Average time to sample breakdown of winding wires with film insulation grade PPIU

	Test conditions (temperature, voltage)	Average time to sample breakdown, minutes
Direct samples	200 °C, 6 kV (50 Hz)	1050
	200 °C, 6 kV (modulated voltage)	420
	200 °C, 4 kV (50 Hz)	1200
Sample wound on a rod	200 °C, 6 kV (modulated voltage)	405

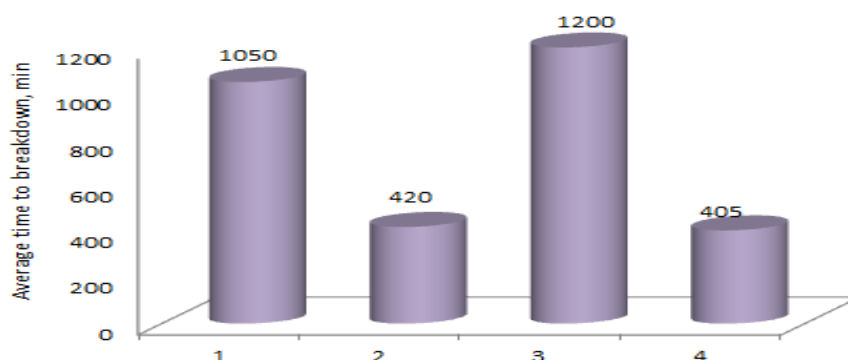


Figure 2.4 - the results of the average time to breakdown of samples

1 - direct sample PPIU-200 at 6 kV; 2 - a direct sample of PPIU -200 at a modulated voltage of 6 kV; 3 - direct sample PPIU-200 without breakdown at 4 kV; 4- sample wound on a rod PPIU-200 with a modulated voltage of 6 kV

### **3 Conclusion**

Based on the results, the following conclusions can be drawn:

1. The action of corona discharges leads to the destruction and breakdown of interturn isolation. The operational effects causing aging of insulation are different. The main cause of aging is an electric field of high tension. As established by the results of studies, under the influence of an electric field, aging occurs due to the appearance of partial discharges in the insulation.

All structural changes under the action of the discharges can be divided into two types: the first ones are concentrated to a depth of about 3  $\mu\text{m}$ , they are caused by the direct action of the discharge; the second type of changes are concentrated at great depths, up to 12 microns, and caused by the action of gaseous products.

2. With increasing temperature, the average time to breakdown sharply decreases. Electrical aging and destruction of the dielectric under the influence of partial discharges are in many respects connected with chemical processes occurring in the field of development of partial discharges. This mainly refers to chemical reactions occurring under the influence on the dielectric of products resulting from partial discharges, or the reaction of microradicals formed under the influence of partial discharges, with oxygen in the gas environment or other active substances resulting from partial discharges. The rate of these processes is determined by the kinetics of chemical reactions.

During aging, decay products can accumulate in isolation, leading to the formation of gas bubbles, which reduces its breakdown point and mechanical strength. As a result of mechanical impact, especially of a sudden short circuit, pulses and vibration, such insulation can be damaged even with relatively short service life.

3. Thermal aging makes insulation more sensitive to mechanical stress. When the mechanical strength is weakened, the insulation cannot withstand ordinary vibration conditions or pulses, moisture penetration and unequal thermal expansions, compressions of copper, steel and insulating materials.

4. Test samples of winding wires with film insulation: PPIU and PPIUT have great tensile strength, moisture resistance and high electrical strength. In addition, they demonstrate high corona resistance (one of the test samples did not break through when applying a voltage of 4 kV for more than 20 hours), resistance to boiling water, oils, mineral acids, sunlight, ultraviolet radiation and alkali. The films are also frost-resistant and retain their elasticity at temperatures up to  $-70^{\circ}\text{C}$ .

5. Due to the set of properties, the tested samples are widely used in the manufacture of wires and cables, as slot insulation and coil insulation of electrical machines and devices, in the manufacture of capacitors. By their nature, films belong to the heat resistance of class E, however, in combination with more heat-resistant materials and impregnating compounds, it can be used in insulation systems of classes B and F.